

## 12.1 Antragsformular für den baulichen Teil

### Bauantrag gem. § 63 bzw. § 64 der Niedersächsischen Bauordnung (NBauO)

An die Bauaufsichtsbehörde Untere Bauaufsichtsbehörde / Landkreis Rotenburg (Wümme) Hopfengarten 2 27356 Rotenburg (Wümme)	Eingangsstempel der Bauaufsichtsbehörde	Aktenzeichen der Bauaufsichtsbehörde
Gemeinde	Eingangsstempel der Gemeinde	Aktenzeichen der Gemeinde
<b>Hiermit beantrage/n ich/wir gemäß § 63 bzw. § 64 der Niedersächsischen Bauordnung (NBauO) für die nachstehend bezeichnete Baumaßnahme die Baugenehmigung. Die erforderlichen Bauvorlagen sind diesem Bauantrag gemäß der aktuellen Bauvorlagenverordnung (BauVorlVO) beigelegt.</b>		

#### 1. Bezeichnung der Baumaßnahme

Errichtung von 5 Windenergieanlagen des Typs Enercon E-160 EP5 E3 mit 5,56 MW auf 119,83 m und 166,60 m Nabenhöhe
---

#### 2. Baugrundstück

Gemeinde Scheeßel	Ortsteil Ostervesede		
Straße	Hausnummer		
Gemarkung	Flur	Flurstück (Zähler)	Flurstück (Nenner)
Ostervesede	17	1	1
Ostervesede	17	1	2
Ostervesede	17	4	
Ostervesede	17	5	
Ostervesede	18	11	
Ostervesede	18	12	
Ostervesede	18	14	
Ostervesede	18	15	
Ostervesede	18	16	

### 3. Bauherr/Bauherrin

Firmenname (wenn zutreffend. Bei Gesellschaften bzw. juristischen Personen ist dann im Folgenden der Vertretungsberechtigte anzugeben) naturwind GmbH		
Name Bauherrin / Bauherr (bei juristischen Personen Vertretungsberechtigte)		
Vorname/n		Nachname
Straße Schelfstraße	Hausnummer 35	Telefon (mit Vorwahl) 0385 / 7788370
PLZ 19055	Ort Schwerin	E-Mail info@naturwind.de

### 4. Entwurfsverfasserin/Entwurfsverfasser

Firmenname (wenn zutreffend)		
Name Entwurfsverfasserin / Entwurfsverfasser (natürliche Person)		
Vorname/n Roman		Nachname Wagner vom Berg
Berufsbezeichnung Dipl.-Ing. (FH)		
Straße Blumenstraße	Hausnummer 26	Telefon (mit Vorwahl) 0441/ 390340
PLZ 26121	Ort Oldenburg	E-Mail mail@plankon.de

#### ist für die beantragte Baumaßnahme bauvorlageberechtigt nach

<input checked="" type="checkbox"/> § 53 Abs. 3 Satz 2 NBauO nach	
<input type="checkbox"/> Nr. 1 Architektin / Architekt, eingetragen in Liste der Architektenkammer Nr.	
<input type="checkbox"/> Nr. 2 Entwurfsverfasser/in, eingetragen in Liste der Architektenkammer Nr.	
<input checked="" type="checkbox"/> Nr. 3 Entwurfsverfasser/in, eingetragen in Liste der Ingenieurkammer Nr.	3168
<input type="checkbox"/> Nr. 3 Entwurfsverfasser/in, eingetragen im Verzeichnis Nr. des Bundeslandes	
<input type="checkbox"/> Nr. 3 Entwurfsverfasser/in nach § 20 NIngG gleichgestellt (europäischer Dienstleistungsverkehr), niedergelassen im Staat	
<input type="checkbox"/> Nr. 4 öffentlich Bedienstete / öffentlich Bediensteter	
<input type="checkbox"/> Nr. 5 Innenarchitektin / Innenarchitekt, eingetragen in Liste der Architektenkammer Nr.	
<input type="checkbox"/> § 53 Abs. 4 NBauO nach	
<input type="checkbox"/> Nr. 1 Landschaftsarchitektin / Landschaftsarchitekt, eingetragen in Liste der Architektenkammer Nr.	
<input type="checkbox"/> Nr. 2 Handwerksmeisterin / Handwerksmeister oder diesen nach § 7 Abs. 3, 7 oder 9 HwO gleichgestellt	
<input type="checkbox"/> Nr. 3 staatlich geprüfte Technikerin / staatlich geprüfter Techniker	
<input type="checkbox"/> Nr. 4 Technikerin / Techniker mit gleichwertigem Ausbildungsnachweis	
<input type="checkbox"/> § 53 Abs. 5 NBauO	
<input type="checkbox"/> Handwerksmeisterin / Handwerksmeister, gleichgestellt im europäischen Dienstleistungsverkehr, niedergelassen im Staat	
<input type="checkbox"/> Technikerin / Techniker, gleichgestellt im europäischen Dienstleistungsverkehr, niedergelassen im Staat	

#### darf als Entwurfsverfasserin / Entwurfsverfasser tätig werden nach

<input type="checkbox"/> § 53 Abs. 9 NBauO	<input type="checkbox"/> Übergangsregelung § 86 Abs. 6 NBauO
--	--

**5. Tragwerksplanerin / Tragwerksplaner**

Firmenname (wenn zutreffend)			
Name Tragwerksplanerin / Tragwerksplaner (natürliche Person)			
Vorname/n		Nachname	
Berufsbezeichnung			
Straße		Hausnummer	Telefon (mit Vorwahl)
PLZ	Ort		E-Mail
<b>ist zur Erstellung des Nachweises der Standsicherheit für die beantragte Baumaßnahme berechtigt nach</b>			
<input type="checkbox"/> § 65 Abs. 4 NBauO			
<input type="checkbox"/> Tragwerksplaner/in, eingetragen in der Liste der Ingenieurkammer Niedersachsen Nr.			
<input type="checkbox"/> Tragwerksplaner/in, eingetragen im Verzeichnis Nr. des Bundeslandes			
<input type="checkbox"/> Tragwerksplaner/in nach § 21 Abs. 5 NIngG gleichgestellt (europäischer Dienstleistungsverkehr), niedergelassen im Staat			
<input type="checkbox"/> § 86 Abs. 5 NBauO (Übergangsregelung) - (Standsicherheitsnachweis ist ggf. prüfpflichtig)			
<input type="checkbox"/> § 65 Abs. 1 S. 2 i. V. m. § 53 Abs. 3 Satz 2 Nrn. 1 bis 4, Abs. 4 Nrn. 2 bis 4 sowie Abs. 5 bis 8 NBauO (Standsicherheitsnachweis ist prüfpflichtig)			


**6. Erschließung**

<b>6.1 Zugang/Zufahrt zum Grundstück erfolgt</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> von öffentlicher Verkehrsfläche	<input type="checkbox"/> über Grundstück im Miteigentum	<input checked="" type="checkbox"/> über anderes Grundstück (ggf. Baulast/Grunddienstbarkeit erforderlich)	
<b>6.2 Niederschlagswasserbeseitigung erfolgt durch</b>			
<input type="checkbox"/> die Einleitung in ein kommunales Regenwassersystem	<input type="checkbox"/> Einleitung in ein Gewässer	<input type="checkbox"/> die ungezielte, breitflächige Versickerung auf Grundstücksflächen	<input checked="" type="checkbox"/> die gezielte Versickerung auf Grundstücksflächen
Bei gezielter Versickerung oder der Einleitung in ein Gewässer ist dem Bauantrag ein Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis nach § 8 Wasserhaushaltsgesetz beizufügen.			
<b>6.3 Sonstige Abwasserbeseitigung erfolgt durch</b>			
<input type="checkbox"/> kommunales Abwassersystem	<input type="checkbox"/> Kleinkläranlage	<input type="checkbox"/> Sonstiges:	<input type="text"/>
<b>6.4 Trinkwasserversorgung erfolgt durch</b>			
<input type="checkbox"/> zentrales Wasserwerk oder dezentrales kleines Wasserwerk	<input type="checkbox"/> Sonstiges: <input type="text"/>		
<b>6.5 Löschwasserversorgung erfolgt durch</b>			
<input type="checkbox"/> öffentliche Wasserversorgung	<input type="checkbox"/> offene Gewässer	Entfernung (m)	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Feuerlöschteich	<input type="checkbox"/> Feuerlöschbrunnen	Entfernung (m)	<input type="text"/>

**7. Arbeitsstättenrecht**

<p><b>Die Vereinbarkeit der Bauvorlagen mit den Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung wird nur geprüft, wenn die Bauherrin oder der Bauherr dies verlangt.</b></p> <p><input type="checkbox"/> Gem. § 64 Satz 2 NBauO - auch in Verbindung mit § 63 Abs. 1 Satz 3 NBauO - wird um Prüfung der Anforderungen auf Vereinbarkeit mit der Arbeitsstättenverordnung im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens gebeten.</p>
--

## 8. Zustellung der Baugenehmigung an Nachbarn

Es wird erbeten, die Baugenehmigung oder Teilbaugenehmigung nach § 70 Abs. 5 NBauO den in der Anlage näher bezeichneten Nachbarn zuzustellen.

### Hinweise:

Die Bauherrin oder der Bauherr ist dafür verantwortlich, dass die von ihr oder ihm veranlasste Baumaßnahme dem öffentlichen Baurecht entspricht. Die Entwurfsverfasserin oder der Entwurfsverfasser ist dafür verantwortlich, dass der Entwurf für die Baumaßnahme dem öffentlichen Baurecht entspricht. **Über erforderliche Ausnahmen, Befreiungen und Zulassungen von Abweichungen von Vorschriften wird nur auf besonderen Antrag entschieden (Der Antrag ist unter Kapitel 12.9 "Sonstiges" einzufügen).**

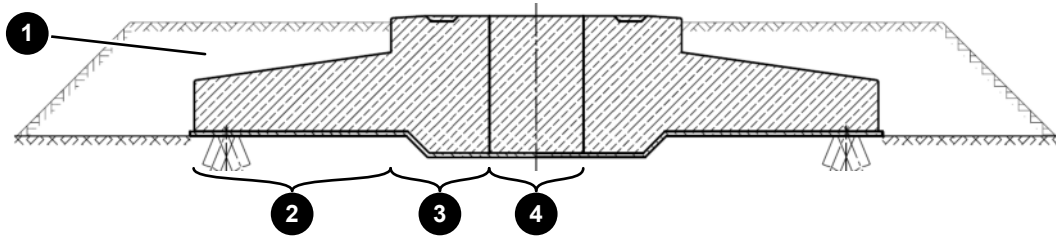
### Datenschutz:

Die elektronische Verarbeitung der in diesem Formular enthaltenen personenbezogenen Daten ist für die Durchführung dieses Verwaltungsverfahrens gem. § 67 Abs. 1 Satz 2 NBauO erforderlich und gem. §§ 3 und 5 NDSG zulässig. Empfänger dieser Daten sind die Gemeinde, die untere Bauaufsichtsbehörde sowie andere Behörden (§ 69 Abs. 3 NBauO) und ggfs. Nachbarn sowie die zu beteiligende Öffentlichkeit (§ 68 NBauO). Bauvorlagen in elektronischer Form können dauerhaft gespeichert werden. Zudem werden die Daten regelmäßig an die zuständige Finanzbehörde (§ 29 BewG), den zuständigen Unfallversicherungsträger (§ 195 Abs. 3 SGB VII) und das Vermessungs- und Katasteramt (§ 5 NVerMG) übermittelt. Nähere Informationen und die Kontaktdaten des Datenschutzbeauftragten entnehmen Sie bitte den Internetseiten des Adressaten dieses Antrages.

**Die Bauherrin /der Bauherr erklärt, dass die Entwurfsverfasserin /der Entwurfsverfasser bevollmächtigt ist, Bauvorlagen nachzureichen und zu ändern.**

Datum, Unterschrift des Bauherrn/der Bauherrin	Datum, Unterschrift des Entwurfsverfassers/der Entwurfsverfasserin
--	--





**Abb. 1: Fundament für Stahlturm mit Aufschüttung und Sohlvertiefung**

1	Bodenaufschüttung	2	Sporn
3	Sockel	4	Bereich ohne Bewehrung

### Allgemeine Fundamentdaten

Jedes Fundament besteht aus einem kreisringförmigen Sporn mit innenliegendem Sockel, der als Auflager für den Stahlturm dient. Das Fundament wird aus Beton C35/45 hergestellt. Unter dem Fundament befindet sich eine 0,10 m dicke Sauberkeitsschicht aus Beton C12/15.

In der Sockelmitte ist der Fundamentkorb einbetoniert. Innerhalb des Fundamentkorbs befindet sich ein Bereich ohne statisch relevante Bewehrung mit einem Durchmesser von 3,80 m, der als Leerrohrdurchführung dient. Auf den Sporn wird eine dauerhafte Bodenaufschüttung aufgebracht, die bis auf 0,15 m unter die Sockeloberkante reicht. Die Sockeloberkante liegt 2,80 m über der Geländeoberkante.

Für diese Fundamente ist ein Grundwasserstand bis zur Geländeoberkante zulässig.

### Kreisförmige Flachgründung (mit Auftriebswirkung)

Der Außendurchmesser des Fundaments beträgt 22,65 m, der Außendurchmesser des Sockels beträgt 8,20 m. Die Spornhöhe beträgt innen 2,20 m und außen 0,30 m. Die Gesamthöhe im Bereich des Sockels beträgt 3,20 m.

### Kreisförmige Tiefgründung (mit Auftriebswirkung)

Der Außendurchmesser des Fundaments beträgt 19,40 m, der Außendurchmesser des Sockels beträgt 8,20 m. Die Spornhöhe beträgt innen 2,20 m und außen 1,00 m. Die Gesamthöhe im Bereich des Sockels beträgt 3,20 m.

Die Fundamentlasten werden über Pfähle mit vorgegebenem Querschnitt in den tragfähigen Baugrund eingeleitet. Folgende Varianten sind möglich:

- 40 Fertigteilrammpfähle aus Stahlbeton mit quadratischem Querschnitt 45 cm x 45 cm.
- 34 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 51 cm.
- 28 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 56 cm.
- 16 Bohrpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 100 cm.

Der Hybrid-Stahlurm (HST) besteht aus einem T-Flansch und 7 konischen und zylindrischen Stahlsektionen. Die 4 unteren Stahlsektionen bestehen aus gekanteten Blechen mit einer Länge von jeweils 11,48 m, die vor Ort mit vorgespannten Schrauben verbunden werden. Die 3 darauf gesetzten Stahlrohrsektionen werden über Ringflansche verschraubt. Sie haben (von unten nach oben) Längen von 16,40 m, 23,20 m und 28,90 m. Sie werden mit Einbauten vorausgerüstet geliefert. Die untere Stahlrohrsektion bildet den Übergang zwischen den gekanteten Blechen und den Stahlrohrsektionen.

Die Gesamthöhe des Turms beträgt 115,18 m ab Fundamentoberkante. Der Durchmesser beträgt am Turmfuß ca. 6,04 m, und am Turmkopfflansch 4,04 m. Die Wanddicke variiert zwischen 17 mm und 69 mm.

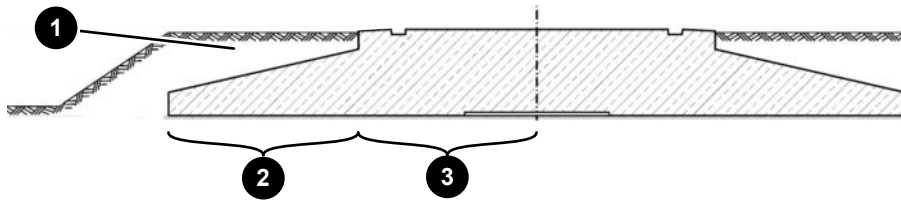
Die Teile des T-Flanschs sind bei der Anlieferung mit entsprechenden Teilen des Fundamentkorbs verschraubt. Vor der Betonage des Fundaments werden die vorgefertigten Teile verbunden und ausgerichtet. Anschließend werden die vorgefertigten Stahlsektionen darauf montiert und mit vorgespannten Schrauben verbunden.

Im oberen Bereich jeder Stahlsektion sind Podeste angeordnet. Sie dienen als feste Arbeitsbühne sowie als Ruhebühne beim Auf- und Abstieg.

Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Aufstiegshilfe (Nutzlast mindestens 250 kg) gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG. Die Aufstiegshilfe fährt leitergeführt bis zu einem Podest einige Meter unterhalb des Turmkopfs. Für die restliche Strecke wird die Sicherheitssteigleiter benutzt, die über die gesamte Turmhöhe führt. Die Sicherheitssteigleiter erfüllt in Kombination mit einer Steigschutzeinrichtung die DIN EN ISO 14122-4:2016.

Die Turminnenleuchten sind so verteilt, dass eine ausreichende Beleuchtung des Turminnenraums gegeben ist. Bei Spannungsausfall wird die Innenbeleuchtung durch eine Notstromeinrichtung versorgt, sodass Personen sicher absteigen können.

Der Zugang zum Turm erfolgt über eine außen angebrachte Treppe. Vor der Turmeingangstür ist ein Podest montiert. Im Turm befindet sich auf dieser Höhe das Eingangspodest. Die Turmeingangstür ist mit einem Schloss ausgerüstet, das von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden kann. Der Zutritt von außen ist nur mit Schlüssel möglich.



**Abb. 1: Fundamentalschnitt mit Aufschiebung**

1	Bodenaufschüttung	2	Sporn
3	Sockel		

### Allgemeine Fundamentdaten

Jedes Fundament besteht aus einem kreisringförmigen Sporn mit innenliegendem Sockel, der als Auflager für den Hybridturm dient. Der obere Teil des Sockels wird aus Beton C40/50 hergestellt. Der Sporn und der untere Teil des Sockels werden aus Beton C30/37 hergestellt. Unter den Fundamenten befindet sich eine 0,10 m dicke Sauberkeitsschicht aus Beton.

Im Sockel sind die Ankerplatten zur Befestigung der Spannlitzen einbetoniert. In der Mitte des Sockels befindet sich ein Bereich ohne statisch relevante Bewehrung, der als Leerrohrdurchführung dient. Auf den Sporn wird eine dauerhafte Bodenaufschüttung aufgebracht, die bis auf 0,10 m unter die Sockeloberkante reicht. Die Sockeloberkante liegt 2,30 m über der Geländeoberkante.

Für diese Fundamente ist ein Grundwasserstand bis zur Geländeoberkante zulässig.

### Kreisförmige Flachgründung (mit Auftriebswirkung)

Der Außendurchmesser des Fundaments beträgt 24,00 m, der Durchmesser des Sockels beträgt 10,90 m. Die Höhe des Sporns beträgt innen 2,20 m und außen 0,70 m. Die Gesamthöhe im Bereich des Sockels beträgt 2,80 m.

### Kreisförmige Tiefgründung (mit Auftriebswirkung)

Der Außendurchmesser des Fundaments beträgt 23,00 m, der Außendurchmesser des Sockels beträgt 10,90 m. Die Spornhöhe beträgt innen 2,20 m und außen 1,30 m. Die Gesamthöhe im Bereich des Sockels beträgt 2,80 m.

Die Fundamentlasten werden über Pfähle mit vorgegebenem Querschnitt in den tragfähigen Baugrund eingeleitet. Folgende Varianten sind möglich:

- 54 Fertigteilrammpfähle aus Stahlbeton mit quadratischem Querschnitt 45 cm x 45 cm.
- 54 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 51 cm.
- 44 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 56 cm.
- 22 Bohrpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 100 cm.

Der Hybridturm setzt sich aus 34 Betonsegmenten und Stahlsektionen zusammen. Der Außendurchmesser des Turms beträgt am Turmfuß 8,73 m und am Turmkopfflansch 4,04 m. Die Gesamthöhe ab Oberkante (OK) Fundament bis OK Turmkopfflansch beträgt 162,45 m.

Der untere Bereich ist eine Spannbetonkonstruktion aus Fertigteilebetonsegmenten. Die Höhe der 30 Segmente beträgt 2,80 m, die Höhe des Adapters beträgt 2,30 m. Die Gesamthöhe beträgt 86,29 m ab OK Fundament.

Die geteilten Segmente werden in einem gesonderten Montagegang zu kompletten Ringsegmenten verbunden, bevor sie auf dem Fundament aufeinander gesetzt werden.

Auf die Spannbetonkonstruktion sind 3 Stahlsektionen mit Höhen von 21,84 m, 24,36 m und 29,96 m aufgesetzt. Die Wanddicken der Stahlsektionen betragen 17 mm bis 35 mm. Die Verbindung der Stahlsektionen erfolgt mit vorgespannten Schraubverbindungen.

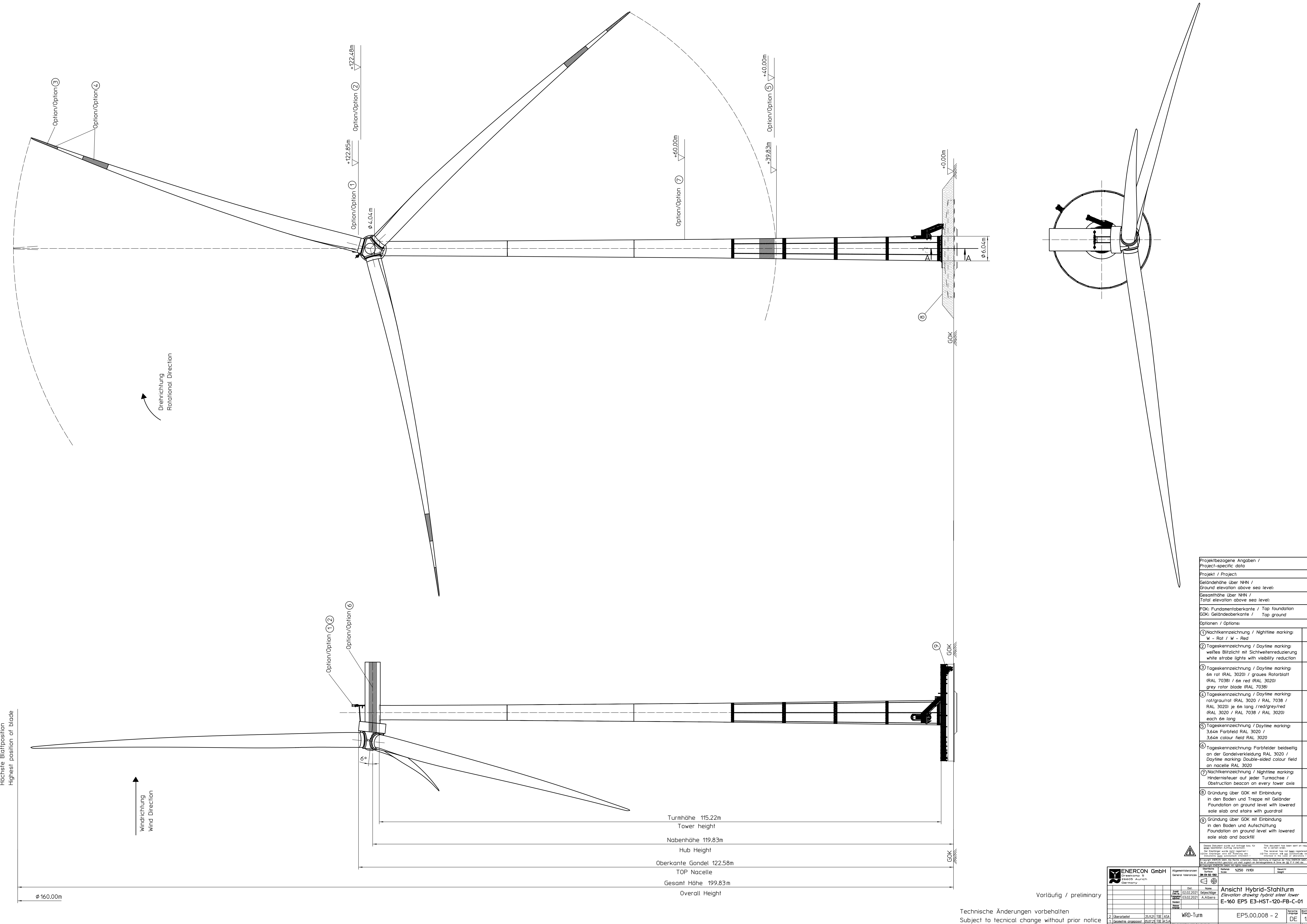
Die Spannglieder werden entlang der Innenseite der Turmwand von unten durch die Aussparungsröhre des obersten Betonsegments (Adapter) eingezogen und im Fundament über eine Stahlkonstruktion verankert (externe Vorspannung). Anschließend werden die Spannglieder gemäß Spannanweisung der Statik gespannt.

Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Sicherheitssteigleiter in Kombination mit einer Steigschutzeinrichtung gemäß DIN EN ISO 14122-4:2016. Zwischen der Eingangsebene und dem oberen Ende des Turms sind Podeste angeordnet. Diese Podeste werden im Werk vorinstalliert und während des Montageprozesses komplettiert. Sie dienen als feste Arbeitsbühne sowie als Ruhebühne beim Auf- und Abstieg. Zum problemlosen Durchstieg befinden sich in den Podesten mit Klappen abgedeckte Luken.

Zusätzlich wird eine Aufstiegshilfe (Nutzlast 240 kg) nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG eingebaut. Sie fährt leitergeführt bis zu einem Podest einige Meter unterhalb des Turmkopfs. Für die restliche Strecke wird die Sicherheitssteigleiter mit Steigschutzeinrichtung benutzt.

Die Turminnenleuchten sind so verteilt, dass eine ausreichende Beleuchtung des Turminnenraums gegeben ist. Bei Spannungsausfall wird die Innenbeleuchtung durch eine Notstromeinrichtung versorgt, sodass Personen sicher absteigen können.

Die Turmeingangstür befindet sich auf Höhe der Fundamentoberkante. Die Turmeingangstür ist abschließbar und kann von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden.

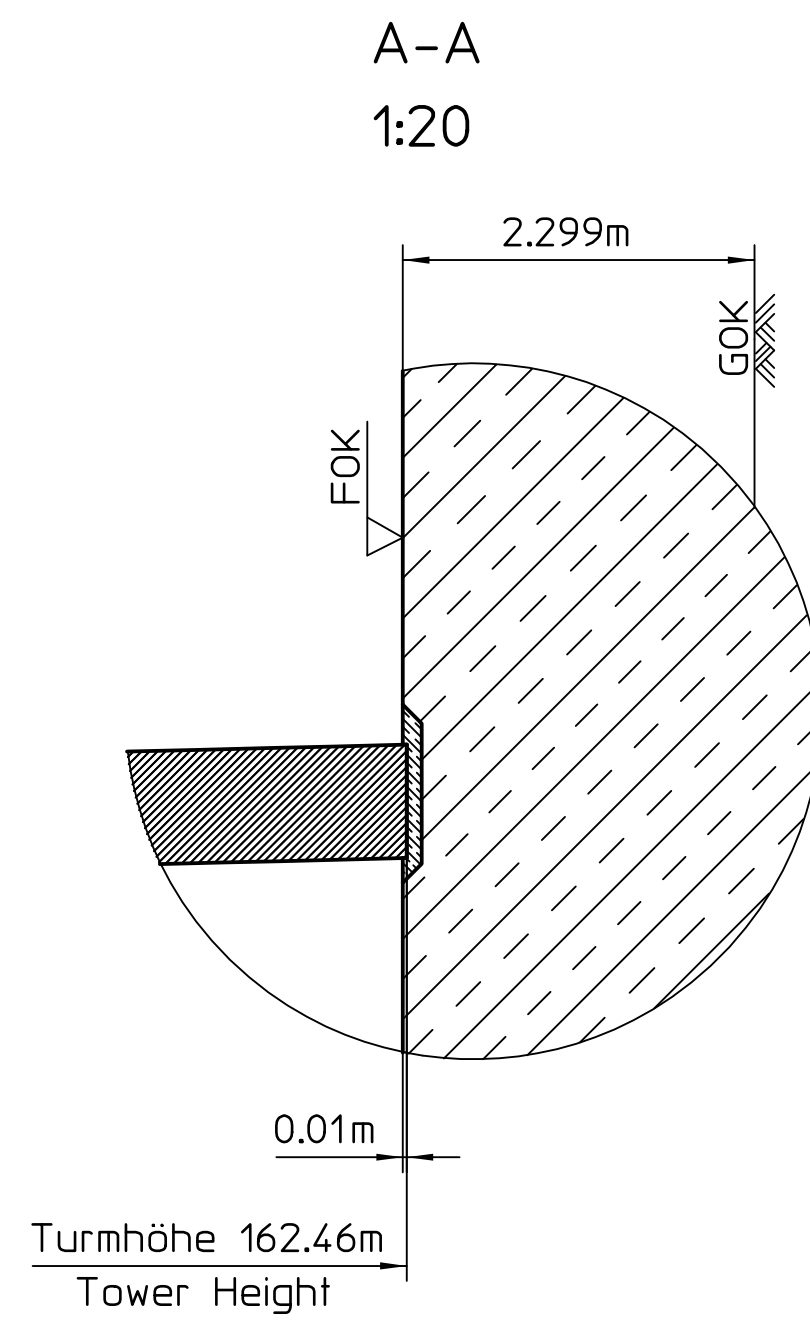
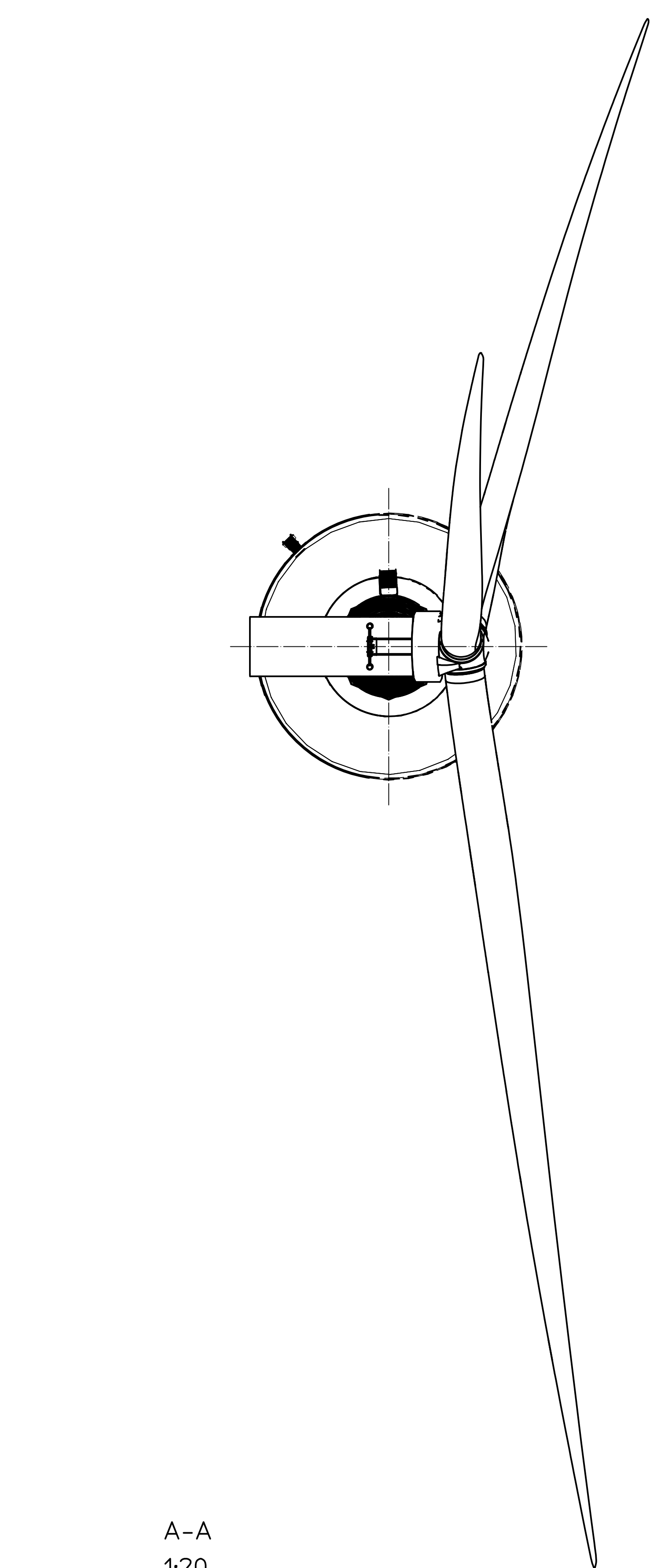
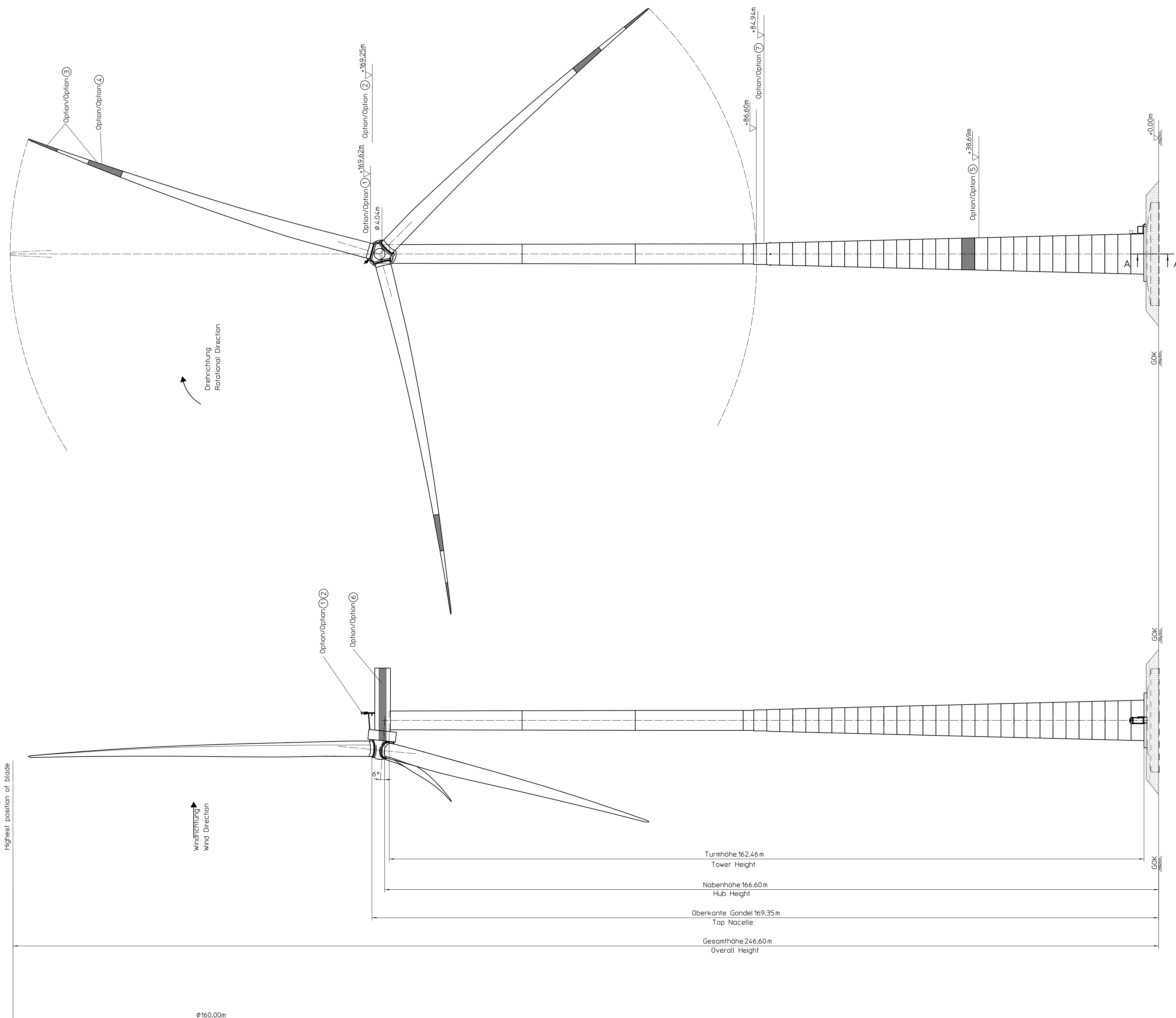


Projektbezogene Angaben / Project-specific data	
Projekt / Project:	
Geländehöhe über NNH / Ground elevation above sea level:	
Gesamthöhe über NNH / Total elevation above sea level:	
FOK: Fundamentoberkante / Top foundation GOK: Geländeoberkante / Top ground	
Optionen / Options:	
① Nachkennzeichnung / Nighttime marking: W - Rot / W - Red	
② Tageskennzeichnung / Daytime marking: weißes Blitzlicht mit Sichtweitenreduzierung white strobe lights with visibility reduction	
③ Tageskennzeichnung / Daytime marking: 6m rot (RAL 3020) / graues Rotorblatt (RAL 7038) / 6m red (RAL 3020) grey rotor blade (RAL 7038)	
④ Tageskennzeichnung / Daytime marking: rot/grau/rot (RAL 3020 / RAL 7038 / RAL 3020) je 6m lang / red/grey/red (RAL 3020 / RAL 7038 / RAL 3020) each 6m lang	
⑤ Tageskennzeichnung / Daytime marking: 3,64m Farbfeld RAL 3020 / 3,64m colour field RAL 3020	
⑥ Tageskennzeichnung / Daytime marking: Farbfelder beidseitig on der Gondelverkleidung RAL 3020 / Daytime marking: Double-sided colour field on nacelle RAL 3020	
⑦ Nachkennzeichnung / Nighttime marking: Hindernisse auf jeder Turmchse / Obstruction beacon on every tower axis	
⑧ Gründung über GOK mit Einbindung in den Boden und Treppe mit Geländer Foundation on ground level with lowered sole slab and stairs with guardrail	
⑨ Gründung über GOK mit Einbindung in den Boden und Aufschüttung Foundation on ground level with lowered sole slab and backfill	

		Allgemeine Angaben General Information	
Zeichnung Drawing	Blatt Sheet	Datum Date	Name Name
1 02.02.2021	1 02.02.2021	1 02.02.2021	A. Albers
WRD-Turm		EP5.00.008 - 2	
1/1		DE	

Vorläufig / preliminary

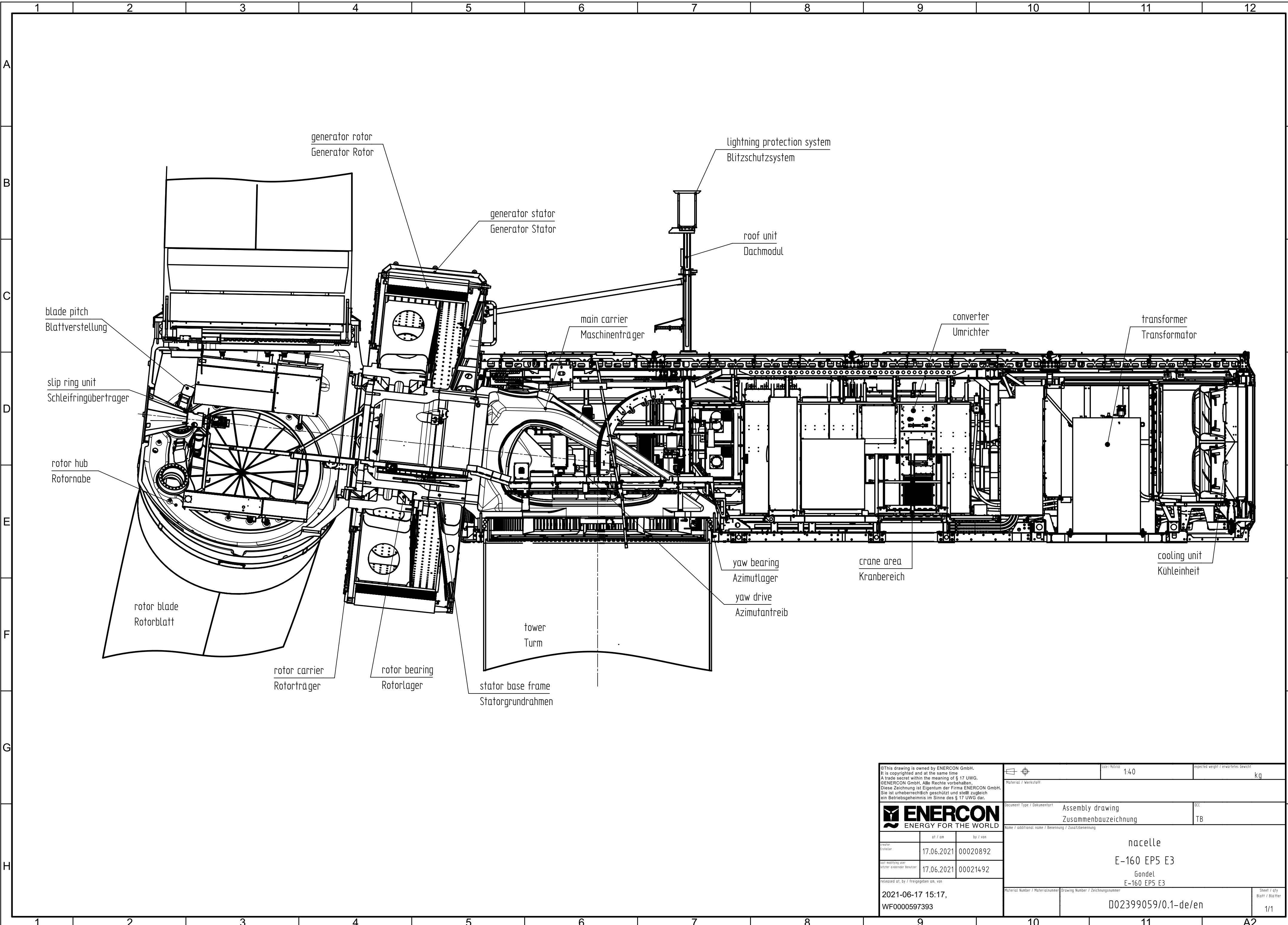
Technische Änderungen vorbehalten  
Subject to technical change without prior notice



Projektbezogene Angaben / Project-specific data	
Projekt / Project:	
Geländehöhe über NNH / Ground elevation above sea level:	
Gesamthöhe über NNH / Total elevation above sea level:	
FOK: Fundamentoberkante / Top foundation GOK: Geländeoberkante / Top ground	
Optionen / Options:	
① Nachtkennzeichnung / Nighttime marking: W - Rot / W - Red	
② Tageskennzeichnung / Daytime marking: weißes Blitzlicht mit Sichtweitenreduzierung white strobe lights with visibility reduction	
③ Tageskennzeichnung / Daytime marking: 6m rot (RAL 3020) / graues Rotarblatt (RAL 7038) / 6m red (RAL 3020) grey rotor blade (RAL 7038)	
④ Tageskennzeichnung / Daytime marking: rot/grau/rot (RAL 3020 / RAL 7038 / RAL 3020) je 6m lang / red/grey/red (RAL 3020 / RAL 7038 / RAL 3020) each 6m long	
⑤ Tageskennzeichnung / Daytime marking: 3m Farbfeld RAL 3020 / 3m colour field RAL 3020	
⑥ Tageskennzeichnung: Farbfelder beidseitig an der Gondelverkleidung RAL 3020 / Daytime marking: Double-sided colour field on nacelle RAL 3020	
⑦ Nachtkennzeichnung / Nighttime marking: Hindernisleuchte auf jeder Turmchse / Obstruction beacon on every tower axis	

ENERCON GmbH E.ON Energy Research Center Germany		General Information		Drawing		Scale		Sheet		KG	
Drawing No. 27.05.2021		Date 27.05.2021		Drawing No. A-Altarea		Scale		Sheet No.		KG	
5. Model Geometrie 17.03.22 TOE ASA		Date 17.03.22		Drawing No. ASA		Scale		Sheet No.		KG	
4. Hersteller geändert 10.02.22 TOE RB		Date 10.02.22		Drawing No. RB		Scale		Sheet No.		KG	
3. Überarbeitet 15.07.21 TOE ASA		Date 15.07.21		Drawing No. ASA		Scale		Sheet No.		KG	
2. Geometrie angepasst 05.07.21 TOE ASA		Date 05.07.21		Drawing No. ASA		Scale		Sheet No.		KG	
1. Element eingefügt 19.06.21 TOE ASA		Date 19.06.21		Drawing No. ASA		Scale		Sheet No.		KG	
Rev. Accuracy/Change Log No. Note		No. Accuracy/Change Log No. Note		No. Accuracy/Change Log No. Note		No. Accuracy/Change Log No. Note		No. Accuracy/Change Log No. Note		No. Accuracy/Change Log No. Note	
WRD-Turm		EP5,00,011 - 5		ANSICHTSZEICHNUNG HYBRIDTURM ELEVATION DRAWING HYBRID TOWER		E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01		Scale		Sheet	
WRD-Turm		EP5,00,011 - 5		ANSICHTSZEICHNUNG HYBRIDTURM ELEVATION DRAWING HYBRID TOWER		E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01		Scale		Sheet	
WRD-Turm		EP5,00,011 - 5		ANSICHTSZEICHNUNG HYBRIDTURM ELEVATION DRAWING HYBRID TOWER		E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01		Scale		Sheet	





©This drawing is owned by ENERCON GmbH. It is copyrighted and at the same time A trade secret within the meaning of § 17 UWG. ©ENERCON GmbH. Alle Rechte vorbehalten. Diese Zeichnung ist Eigentum der Firma ENERCON GmbH. Sie ist urheberrechtlich geschützt und stellt zugleich ein Betriebsgeheimnis im Sinne des § 17 UWG dar.		scale / Maßstab 1:40	expected weight / erwartetes Gewicht kg
		Material / Werkstoff	Document Type / Dokumentart Assembly drawing Zusammenbauzeichnung
Name / additional name / Bezeichnung / Zusatzbezeichnung nacelle E-160 EP5 E3 Gondel E-160 EP5 E3		Material Number / Materialnummer D02399059/0.1-de/en	Drawing Number / Zeichnungsnummer D02399059/0.1-de/en
created by / erstellt von 17.06.2021 00020892	last modifying user / letzter Änderer / Benutzer 17.06.2021 00021492	Sheet / qty Blatt / Blätter 1/1	
released at, by / freigegeben am, von 2021-06-17 15:17, WF0000597393			

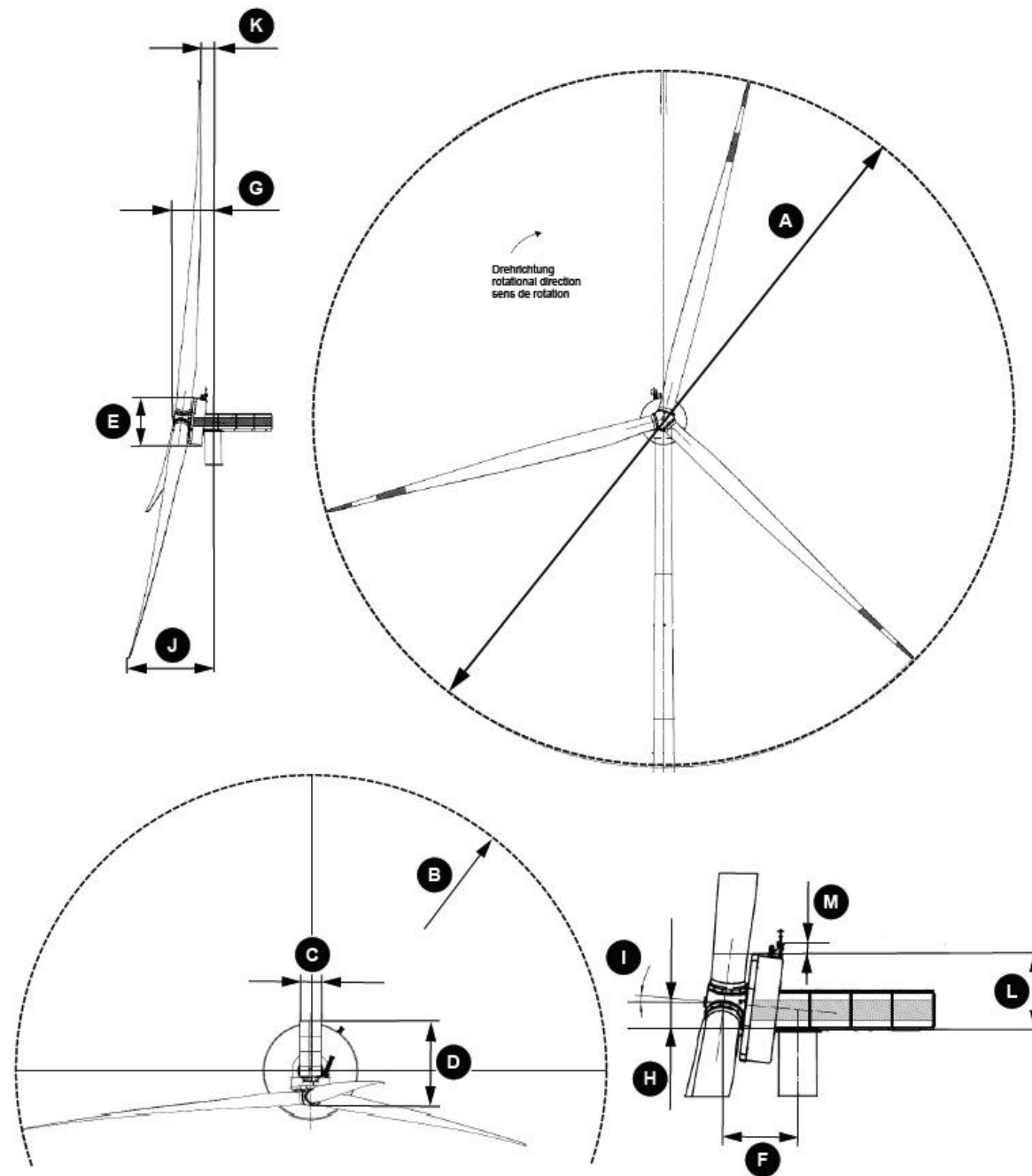


Abb. / Fig.: Schematische Darstellung der Gondel / Schematic diagram of the nacelle / Représentation schématique de la nacelle

Pos.	Bezeichnung Description Designation	Wert Value Valeur	Pos.	Bezeichnung Description Designation	Wert Value Valeur
A <sup>1</sup>	<b>Rotordurchmesser</b> Rotor diameter Diamètre du rotor	160 m	H	<b>Oberkante Turmkopfflansch bis Nabe</b> Top edge of top tower flange to hub Bord supérieur de la bride supérieure du mât jusqu'au moyeu	1,85 m
B <sup>1</sup>	<b>Exzentrizitätsfläche</b> Eccentric surface Surface excentrique	21069 m <sup>2</sup>	I	<b>Neigung</b> Incline Inclinaison	6°
C	<b>Gondelbreite</b> Nacelle width Largeur de la nacelle	4,99 m	J <sup>1</sup>	<b>Turmmitte bis tiefste Blattposition</b> Tower centre to bottom of blade Milieu du mât jusqu'à la position la plus basse de la pale	25,80 m
D	<b>Gondellänge</b> Nacelle length Longueur de la nacelle	19,80 m	K <sup>1</sup>	<b>Turmmitte bis höchste Blattposition</b> Tower centre to top position of blade Milieu du mât jusqu'à la position la plus haute de la pale	9,20 m
E	<b>Gondelhöhe einschließlich Generator</b> Nacelle height including generator Hauteur de la nacelle, y compris le générateur	6,10 m	L	<b>Oberkante Turmkopfflansch bis Oberkante Gondel</b> Top edge of top tower flange to nacelle top edge Bord supérieur de la bride du sommet du mât jusqu'au bord supérieur de la nacelle	4,60 m
F	<b>Turmmitte bis Nabe horizontal</b> Tower centre to hub horizontal Milieu du mât vers le moyeu horizontalement	6,10 m			
G	<b>Turmmitte bis Gondelspitze</b> Tower centre to nacelle tip Milieu du mât vers l'extrémité de la nacelle	8,10 m			

<sup>1</sup> Die Werte beziehen sich auf den Einbauzustand des Rotorblatts ohne Pitch und ohne jegliche Belastungen. / The values refer to the installation state of the rotor blade when not pitched and without any load. / Les valeurs se rapportent à l'état de montage de la pale du rotor sans pitch et sans charges.



**Tab. 1: Höhen, Bauart / Heights, type**

Parameter	Wert / Value
Gesamthöhe ab Geländeoberkante / Total height above ground level	199,83 m
Nabenhöhe ab Geländeoberkante / Hub height above ground level	119,83 m
Nabenhöhe ab Fundamentoberkante / Hub height above foundation top edge	117,03 m
Turmhöhe ab Fundamentoberkante / Tower height above foundation top edge	115,18 m
Bauart / Type	Hybrid-Stahlurm / Hybrid steel tower

**Tab. 2: Maße und Gewichte / Dimensions and weights**

	Länge / Length in m	Durchmesser / Diameter in m		Gewicht / Weight in t
		Oben / Top	Unten / Bottom	
Stahlsektion / Steel section 1	28,90	4,04	4,02	61
Stahlsektion / Steel section 2	23,20	4,02	4,31	58
Stahlsektion / Steel section 3	16,40	4,31	4,35	60
Stahlsektion / Steel section 4	11,48	4,34	4,76	45
Stahlsektion / Steel section 5	11,48	4,76	5,17	49
Stahlsektion / Steel section 6	11,48	5,17	5,59	50
Stahlsektion / Steel section 7	11,48	5,59	6,00	55
T-Flansch / T-flange	0,80	6,02	6,04   6,57 <sup>1</sup>	18
Fundamentkorb / Foundation basket	3,10	-	6,42 <sup>2</sup>	7

<sup>1</sup> Außendurchmesser Flansch / Outer diameter flange

<sup>2</sup> Außendurchmesser Ankerring / Outer diameter anchor ring

**Tab. 1: Höhen, Bauart / Heights, type**

Parameter	Wert / Value
Gesamthöhe ab Geländeoberkante / Total height above ground level	246,60 m
Nabenhöhe ab Geländeoberkante / Hub height above ground level	166,60 m
Nabenhöhe ab Fundamentoberkante / Hub height above foundation top edge	164,30 m
Turmhöhe ab Fundamentoberkante / Tower height above foundation top edge	162,45 m
Anzahl der Stahlsektionen / Number of steel sections	3
Anzahl der Betonsegmente / Number of concrete segments	31
Bauart / Type	Hybridturm / Hybrid tower

**Tab. 2: Maße und Gewichte / Dimensions and weights**

	Länge / Length in m	Durchmesser / Diameter in m		Gewicht / Weight in t
		Oben / Top	Unten / Bottom	
Stahlsektion / Steel section 1	29,96	4,04	4,18	62
Stahlsektion / Steel section 2	24,36	4,18	4,30	59
Stahlsektion / Steel section 3	21,84	4,30	4,30	73
Betonsegmente / Concrete segments	86,30	4,53	8,73	1297

BV-Nr. E-160EP5/E3/120/HST  
Index A

13.07.2021

**Allgemeines**

**Brandschutzkonzept**

**für die Errichtung  
einer  
Windenergieanlage**

**des Typs ENERCON E-160 EP5 E3**

**mit 120 m Nabenhöhe**

Auftraggeber: WRD Management Support GmbH  
Borsigstr. 26  
26607 Aurich

## INHALTSÜBERSICHT

	Seite
<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1 Auftrag	4
1.2 Gesetzliche Grundlagen, Regelwerke	5
1.3 Verwendete Unterlagen	5
1.4 Schutzziele	6
1.5 Bestimmung der Gesamthöhe	6
1.6 Einstufung des Gebäudes	6
1.7 Risikobeurteilung der Maschine	7
<b>2 Gebäudetechnische Daten und Nutzungen</b>	<b>8</b>
2.1 Allgemein	8
2.2 Äußere Erschließung	8
2.3 Innere Erschließung	8
2.4 Nutzung der Windenergieanlage	9
2.4.1 Allgemeines	9
2.4.2 Funktion	9
2.4.3 Zahl der Nutzer	9
2.4.4 Betrieb; Wartung	9
2.4.5 Beschreibung der Einrichtungen der WEA	10
2.5 Risikoanalyse	11
2.5.1 Brandlasten und Brandgefährdungspotential	11
2.5.2 Wahrscheinlichkeit eines Brandereignisses	12
<b>3 Vorbeugender Brandschutz</b>	<b>15</b>
3.1 System der äußeren und inneren Abschottungen; Anforderungen an Bauteile und Baustoffe	15
3.1.1 Anordnung und Lage von Rauchabschnitten	15
3.1.2 Brandschutztechnische Abschnittsbildung	15
3.1.3 Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile	15
3.1.4 Nichttragende Außenwände und -bekleidungen	15
3.2 Flucht- und Rettungswege	15
<b>4 Vorbeugender anlagentechnischer Brandschutz</b>	<b>16</b>
4.1 Brandmeldeanlage	16
4.2 Alarmierungseinrichtung	16
4.3 Anlagentechnische Branderkennung und Brandmeldung	16
4.3.1 Sensoren	16
4.3.2 Rauchschalter	17
4.4 Lüftungsanlagen	18
4.5 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen	18
4.6 Blitzschutz	18
<b>5 Organisatorischer Brandschutz</b>	<b>19</b>
5.1 Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung und Brandbekämpfung sowie zur Rettung von Personen	19
5.2 Kennzeichnung von Rettungswegen	19
5.3 Flucht- und Rettungspläne	19
5.4 Alarmierung der Feuerwehr	19
5.5 Einrichtungen zur Brandbekämpfung	20
5.6 Prüfungen technischer Anlagen und Einrichtungen	20
5.7 Übung mit der Zuständigen Feuerwehr	20
<b>6 Abwehrender Brandschutz</b>	<b>21</b>
6.1 Flächen für die Feuerwehr	21
6.2 Löschwasserversorgung	21

6.3	Löschwasserrückhaltung .....	21
6.4	Feuerwehrpläne .....	22
6.5	Hydrantenpläne .....	22
6.6	Brandbekämpfung .....	22
6.6.1	Brand im Turmfuß .....	22
6.6.2	Brand in der Gondel .....	23
6.6.3	Brand der Rotorblätter.....	23
6.6.4	Brandweiterleitung auf die Umgebung.....	23
<b>7</b>	<b>Verwendete Rechenverfahren nach Methoden des Brandschutzingenieurwesens .....</b>	<b>24</b>
<b>8</b>	<b>Abweichungen .....</b>	<b>24</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>25</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Auftrag

Die Unterzeichnerin wurde am 24.06.2021 beauftragt, für die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-160 EP5 E3 mit 120 m Nabenhöhe, ein Brandschutzkonzept gemäß Musterbauordnung (MBO) zu erstellen.

Ein Brandschutzkonzept ist eine zielorientierte Gesamtbewertung des baulichen und abwehrenden Brandschutzes bei Gebäuden besonderer Art oder Nutzung. Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird. Die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen berücksichtigen die Anforderungen für dieses Objekt.

Das Brandschutzkonzept beinhaltet die Einzelmaßnahmen aus

- vorbeugendem Brandschutz
- organisatorischem (betrieblichem) Brandschutz und
- abwehrendem Brandschutz.

Unter Berücksichtigung

- der Nutzung
- des Brandrisikos und
- des zu erwartenden Schadenausmaßes

werden im Brandschutzkonzept die Einzelkomponenten und ihre Verknüpfung im Hinblick auf die Schutzziele beschrieben.

Es werden nur die brandschutztechnischen Belange berücksichtigt, Eiswurf oder immissionsschutzrechtliche Belange werden nicht betrachtet.

## 1.2 Gesetzliche Grundlagen, Regelwerke

Folgende Gesetze und Richtlinien wurden zur Erstellung des vorliegenden Brandschutzkonzeptes berücksichtigt:

- /1/ MBO – Musterbauordnung, vom 1. November 2002 in der Fassung vom 27.09.2019 (ARGEBAU)
- /2/ MBauVorIV – Musterbauvorlagenverordnung, Muster einer Verordnung über Bauvorlagen und bauaufsichtliche Anzeigen, Fassung Februar 2007 (Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU)
- /3/ DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, in der zurzeit gültigen Fassung und allen veröffentlichten Teilen
- /4/ DIN EN 62305-1, Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Ausgabe Oktober 2011; Berichtigung 1, Ausgabe Dezember 2015
- /5/ Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG, vom 17.05.2006
- /6/ 9. ProdSV - Maschinenverordnung, Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenrichtlinie) vom 12.05.1993 zuletzt geändert am 08.11.2011

## 1.3 Verwendete Unterlagen

Zur Erstellung standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

Unterlagen	Dokumenten-Nr.	Datum
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3	D02225927/2.0	08.06.2021
Gondelübersicht	D02399059/0.1	17.06.2021
Gondelabmessungen E-160 EP5 E3	D02252048/0.1	ohne
Technische Beschreibung Anlagensicherheit ENERCON WindenergieanlageEP5	D0765718-1	29.05.2019
Technische Beschreibung Turm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01	D02245386/0.1	ohne
Technisches Datenblatt Turm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01	D02245124/0.2	ohne
Ansichtszeichnung Hybridturm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01 Turm/ Gondel/Blätter	EP5.00.008-1 D02254557-1.0	05.07.2021
Technisches Datenblatt, Rotorblatt LM 78.3 P mit Hinterkantenkamm	D0858735/3.2	ohne
Technische Beschreibung Wassergefährdende Stoffe* ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3	D02399222/0.4	28.06.2021
Technische Beschreibung Einrichtungen zum Arbeits-, Personen- und Brandschutz	D0446785/2.3	22.03.2021
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Blitzschutz	D0260891-12	26.11.2020
Datenblatt Installationsorte der Feuerlöscher	D0648865/7.1	01.07.2021
Technische Beschreibung Warnsignalisierung bei unsicheren Betriebszuständen	D1007126/1.0	23.03.2021
Datenblatt Installationsorte der Rauchschalter	D0701831/2.2	17.03.2021
Verhalten im Notfall	ID0X10	ohne
Technische Beschreibung Brandschutz EP5	D0736681/4.2	27.01.2021

<b>Unterlagen</b>	<b>Dokumenten-Nr.</b>	<b>Datum</b>
Technische Beschreibung ENERCON Aufstiegshilfe	D0917105-1	12.11.2020
Spezifikation Zuwegung und Baustellenflächen E-160 EP5 E3, 120 m, Hybrid-Stahlurm	D02284865/0.1	23.03.2021

**Tabelle 1: Unterlagen**

\*In dem Dokument Wassergefährdende Stoffe sind alle Stoffe mit Mengenangaben aufgeführt, die in der WEA Verwendung finden, mit der Auflistung der entsprechenden Sicherheitsdatenblätter.

#### **1.4 Schutzziele**

Für die Beurteilung der zu errichtenden Windenergieanlagen gelten die materiellen Vorschriften der Musterbauordnung. Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind (§14 MBO).

#### **1.5 Bestimmung der Gesamthöhe**

Die Windenergieanlage weist eine Nabenhöhe von ca. 120 m auf und der Rotor hat einen Durchmesser von ca. 160 m. Die Rotorblattlänge beträgt ca. 78 m. Damit ergibt sich eine Gesamthöhe von ca. 200 m.

#### **1.6 Einstufung des Gebäudes**

In den WEA befinden sich keine Aufenthaltsräume gemäß § 47 MBO. Die Anlagen werden nur temporär zu Wartungs- und Reparaturzwecken begangen.

Sie ist eine freistehende Maschine gemäß Maschinenrichtlinie.

Die WEA mit mehr als 30 m Höhe über der Geländeoberfläche im Mittel werden als Sonderbauten im Sinne des § 2 (4) Nr. 2 MBO eingestuft.

Eine Windenergieanlage ist eine bauliche Anlage besonderer Art und Nutzung, an der im Einzelfall zur Verwirklichung der allgemeinen Anforderungen besondere Anforderungen gestellt werden. Erleichterungen können gestattet werden, soweit es der Einhaltung von Vorschriften wegen der besonderen Art oder Nutzung baulicher Anlagen nicht bedarf.



## **1.7 Risikobeurteilung der Maschine**

Der Hersteller ist verpflichtet für die komplette WEA eine Risikobeurteilung nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG durchzuführen.

Der auf dem Turm angeordnete maschinentechnische Teil der Windenergieanlage, hierzu zählen u.a. die Rotorblätter sowie die Nabe, die regelungs- und elektrotechnischen Komponenten, der Generator, die Lager und die Bremse, entsprechen laut Hersteller den anerkannten Regeln der Technik.

## **2 Gebäudetechnische Daten und Nutzungen**

### **2.1 Allgemein**

Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um eine Errichtung einer Windenergieanlage der Firma ENERCON mit der Typbezeichnung E-160 EP5 E3 mit 120 m Nabenhöhe.

Als Träger der Windenergieanlage Typ E-160 EP5 dient ab Fundamentoberkante ein Hybrid-Stahlurm, bestehend aus einem T-Flansch und 7 Stahlsektionen.

Die tragende Struktur des Maschinenhauses besteht aus Gusseisen, die Gondelverkleidung besteht aus Stahl. Die Rotorblätter werden aus GFK, Epoxidharz, Balsaholz und Schaumstoff hergestellt.

### **2.2 Äußere Erschließung**

Die äußere Erschließung erfolgt über die öffentliche Verkehrsfläche und weiter über befestigte Wege zur WEA.

### **2.3 Innere Erschließung**

Der Zugang in den Turm erfolgt über eine Außentreppe. Vor der Turmeingangstür ist ein Podest montiert. Die Turmeingangstür ist abschließbar und kann von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden. Der Zutritt von außen ist nur mit Schlüssel möglich.

Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Sicherheitssteigleiter in Kombination mit einer Steigschutzeinrichtung gemäß DIN EN ISO 14122-4:2016. Zwischen der Eingangsebene und dem oberen Ende des Turms sind Podeste angeordnet. Diese Podeste werden im Werk vorinstalliert und während des Montageprozesses komplettiert. Sie dienen als feste Arbeitsbühne sowie als Ruhebühne beim Auf- und Abstieg. Zum problemlosen Durchstieg befinden sich in den Podesten mit Klappen abgedeckte Luken.

Zusätzlich wird eine Aufstiegshilfe (Nutzlast 240 kg) nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG eingebaut. Sie fährt leitergeführt bis zu einem Podest einige Meter unterhalb des Turmkopfs. Für die restliche Strecke wird die Sicherheitssteigleiter mit Steigschutzeinrichtung benutzt.

Eine Ebene unter der Eingangsebene befindet sich das TBCU (Tower Base Control Unit), hier ist die Mittelspannungsschaltanlage untergebracht, sowie der Steuerschrank zur Bedienung der Windenergieanlage, eine unterbrechungsfreie

Stromversorgung (USV) und optional die Fernüberwachung der Windenergieanlage angeordnet. Die Bedienung erfolgt über das Human Maschine Interface (HMI), welches sich auf der Eingangsebene befindet.

Die Feuerwehr kann nur in die Eingangsebene auf Höhe Eingangspodest. Der Aufstieg im Turm ist für die Feuerwehr im Brandfall nicht vorgesehen.

## **2.4 Nutzung der Windenergieanlage**

### **2.4.1 Allgemeines**

Die WEA dient zur Wandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie. Durch das getriebelose Anlagenkonzept (Direktantrieb) besitzt der Antriebsstrang keine schnell drehenden Komponenten, kein Getriebeöl. Auf Grund dessen verringert sich wesentlich die Brandentstehungswahrscheinlichkeit.

### **2.4.2 Funktion**

Im Maschinenhaus, das auf dem Turm montiert ist, liefert ein Ringgenerator, der direkt an der Nabe mit den Rotorblättern angekoppelt ist, die elektrische Energie. Die erzeugte Energie wird in einem Wechselrichtersystem in eine netzkonforme Spannung umgewandelt. Der Transformator in der Gondel transformiert die erzeugte Spannung auf das Niveau des Stromnetzes, in das der Strom eingespeist wird. Über die Mittelspannungsschaltanlage im Turmfuß wird der Transformator mit dem aufnehmenden Stromnetz zusammengeschaltet.

### **2.4.3 Zahl der Nutzer**

Die Zahl der Nutzer wird vom Grundsatz mit „keine“ angegeben. Es befinden sich keine Aufenthaltsräume in der Windenergieanlage, nur zu Wartungszwecken halten sich 2 bis 6 Personen in der Anlage auf.

### **2.4.4 Betrieb; Wartung**

Die WEA ist im Betrieb unbemannt und verschlossen. Der Betrieb wird automatisch durch eine Fernabfrage überwacht. Die Daten werden in einer Zentrale ausgewertet, die permanent besetzt ist. Bei Störungen schaltet die WEA selbsttätig ab, wobei die Abschaltung über ein mehrfach redundantes System, auch bei Netzausfall, erfolgt. Die WEA wird bei einer Störung bis zur Reparatur

nicht freigegeben.

Die Begehung zur Wartung mindestens einmal jährlich routinemäßig statt. Bei den Begehungen ist die Anlage außer Betrieb. Wird ein Probelauf notwendig, muss hierfür das Servicepersonal ihr Abseilgeschirr tragen, um sich bei eventuellen Störungen oder einem Brand über den 1. Fluchtweg durch den Turm oder bei versperrten 1. Fluchtweg über den 2. Fluchtweg durch die Luke im Maschinenhaus zu evakuieren.

Die Wartungen werden nur durch Fachpersonal ausgeführt, welches auf die Anlagentechnik und der Rettung aus der Windenergieanlage geschult ist.

Für diesen kurzzeitigen Probelauf bestehen aus brandschutztechnischer Sicht keine Bedenken.

#### 2.4.5 Beschreibung der Einrichtungen der WEA

Bezeichnung	Bereich	Anlagen	Zugangsberechtigung
Gondel mit Rotoren	Maschine	Ringgenerator Nebenaggregate Schaltschränke Transformator	unterwiesenes Personal
Turm	Turm	Mittelspannungskabel (400 V)	unterwiesenes Personal
Fuß	E-Modul	Schaltschränke	Feuerwehr / unterwiesenes Personal/ Elektrofachleute

Tabelle 2: Beschreibung WEA

## 2.5 Risikoanalyse

### 2.5.1 Brandlasten und Brandgefährdungspotential

Die folgende Tabelle dient als Übersicht in welchen Anlagenteilen sich die Brandlasten befinden und wodurch ein Brand entstehen kann:

Bezeichnung	Anlagen	Brandlasten	Brandgefahren
Gondel	Schaltschränke	Kabel	elektrische Störung
	diverse Kabel	Kabel	
	Azimutgetriebe	10 Stellmotoren zur Windnachführung je ca. 18 l Öl	durch Reibung und elektrische Störungen
	Blattflanschlagerlaufbahn	3 Lager mit je 25 l Fett	
	Blattverstellgetriebe	3 Antriebe für die Blattverstellung je 21 l Öl	
	Azimutlager	Ca. 14 l Fett	
	Zentralschmiereinheit	Schmierstoffe insgesamt ca. 22 l	
	Hydrauliksystem	Hydraulikaggregat und Rotorhaltebremse 11 l Öl	
	Transformator	max. 2.060 l synthetische Ester MIDEL 7131	
	Gondelverkleidung	Stahl	
Turm	Mittelspannungskabel 400V	Kabel	durch elektrische Störungen
	Aufstiegshilfe	Schmierstoffe ca. 2,9 l	
Fuß	Schaltschränke	Kabel Verteiler	durch elektrische Störungen
	USV-Schaltschrank Schaltschränke		
Rotor	Rotorblatt	Glasfaserverstärkter Kunststoff, Epoxidharz, Holz, Schaumstoff 25 t ohne Blattheizung	Blitzschlag; Brandüberschlag zwischen Gondel und Rotorblättern, durch elektrische Störungen der Blattheizung

Tabelle 3: Brandlasten

## 2.5.2 Wahrscheinlichkeit eines Brandereignisses

Der Brand lässt sich nach den Normen der Feuerwehren DIN 14011 als nicht bestimmungsgemäßes Brennen, das sich unkontrolliert ausbreiten kann, definieren. Bei einer Brandentstehung und auch für eine Brandausbreitung müssen bestimmte Voraussetzungen vorhanden sein. Diese Voraussetzungen können in die Gruppe der stofflichen Voraussetzungen und in die Gruppe der energetischen Voraussetzungen unterteilt werden. Damit es zum Brennen kommt, bedarf es eines energetischen Anstoßes, d.h. es muss dem Brandgut genügend Zündenergie zugeführt werden. Neben der Zündtemperatur, die für das Einleiten der Verbrennung bzw. das Entzünden ausschlaggebend ist, wird für das selbstständige Brennen eine Mindestverbrennungstemperatur benötigt. Die Mindestverbrennungstemperatur kennzeichnet den Reaktionszustand eines Systems, bei dem die Reaktionswärme gerade noch ausreicht, um den Energiekreislauf unter Berücksichtigung der Wärmeverluste zu schließen, so dass das Feuer nicht erlischt. Aufgrund der überschüssigen Reaktionswärme, die für die Aufbereitung und Aktivierung nicht verbraucht wird, steigt die Temperatur im System selbständig weiter auf die Brandtemperatur an, welche letztendlich getrennt als Flammentemperatur und als Brandraumtemperatur (Rauchgastemperatur) interpretiert wird.

Brandereignisse sind gefährliche Brände, bei denen angenommen wird, dass sich ein Entstehungsbrand zu einem fortentwickelten Brand ausbreiten kann.

Während zur Gewährleistung der Standsicherheit in der Bauordnung gefordert und formuliert wird, dass die baulichen Anlagen standsicher sein müssen, wird demgegenüber die Anforderung zur Gewährleistung des Brandschutzes auf die Beschaffenheit der baulichen Anlage abgestellt:

Es wird in der Bauordnung offenbar nicht auf eine bestimmte Sicherheit (Brandsicherheit) abgestellt, sondern es werden vielmehr die Schutz- und Sicherungsziele ganz allgemein benannt. Deren Erfüllung entsprechend den bauordnungsrechtlichen Einzelvorschriften ergibt jedoch „stillschweigend“, analog zur Standsicherheit, ein bestimmtes Sicherheitsniveau. Dieses Sicherheitsniveau lässt sich semiprobabilistisch derzeit mittels der Versagenswahrscheinlichkeit

von  $1 \times 10^{-6}$  (bei großen Risiken pro Ereignis) bis  $1 \times 10^{-5}$  pro Gebäude je  $m^2$  und Jahr beschreiben. Das Risiko ist theoretisch durch die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines Brandes und die Ausbreitung zu einem gefährlichen Brand pro Bezugsfläche und pro Zeiteinheit sowie dem zu erwartenden Schadensumfang gegeben.

Nach der Normdefinition gelten brennbare Stoffe in geschlossenen Behältern aus Stahlblech oder anderen nicht zerbrechlichen und im Brandverhalten vergleichbaren Werkstoffen als „geschützt“ (TSF, Leistungsschrank, Steuerschrank und USV). Die Schutzwirkung der Systeme ist gewährleistet, d.h. die Stahlschränke werden durch das Gehäuse und dadurch, dass kein Sauerstoff zugeführt wird, geschützt.

Die Zündwahrscheinlichkeit von nicht erhitzten Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt  $> 100^\circ\text{C}$  in Maschinen (hier Dielektrikum im Transformator) wird vom DIN-Ausschuss für so gering angesehen, dass hier ein Beitrag zur Brandbelastung nur bei Leckage vorstellbar ist.

Die Mittelspannungs-Schaltanlage ist eine  $\text{SF}_6$ -gasisolierte Anlage und somit nicht brennbar. Diese Brandlast bleibt unberücksichtigt.

Die Windenergieanlage besitzt ein getriebeloses Antriebssystem. Rotornabe und Ringgenerator sind ohne Getriebe als feste Einheit direkt miteinander verbunden. Das Fehlen von Getriebe und Getriebeöl verringert wesentlich die Brandentstehungswahrscheinlichkeit.

Ein Brand an den Rotorblättern ist unwahrscheinlich, jedoch nicht endgültig auszuschließen. Ein Vollbrand in der Gondel oder die Installation einer Blattheizung können Brandursachen für den Brand eines Rotorblattes sein.

Sofern eine Blattheizung installiert ist, ist sie Teil der Rotoren und unterliegt den allgemein Technischen Regeln für Maschinen. Entsprechend sind anlagentechnische Sicherungen als Konsequenz der Risikobeurteilung des Herstellers eingebaut die dazu führen, dass die Blattheizung oder die gesamte WEA abgeschaltet wird und dass eine Alarmierung über die Weiterschaltung an eine ständig besetzte Stelle erfolgt. Die Folgemaßnahmen sind im organisatorischen Brandschutz unter anderem durch Begutachtung durch das Service-Personal geregelt.

Daraus resultiert, dass aufgrund der besonderen Konstruktionsart und der Anlagenüberwachung der Windenergieanlage der Firma ENERCON keine erhöhte Brandgefährdung besteht und dem Brandschutz anlagentechnisch und organisatorisch erheblich Rechenschaft getragen wird.



### **3 Vorbeugender Brandschutz**

#### **3.1 System der äußeren und inneren Abschottungen; Anforderungen an Bauteile und Baustoffe**

##### **3.1.1 Anordnung und Lage von Rauchabschnitten**

Eine Unterteilung in Rauchabschnitte ist nicht erforderlich.

##### **3.1.2 Brandschutztechnische Abschnittsbildung**

Eine brandschutztechnische Abschnittsbildung in dem Sonderbau ist nicht erforderlich.

##### **3.1.3 Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile**

An den Hybridstahlurm werden keine Anforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer gestellt.

##### **3.1.4 Nichttragende Außenwände und -bekleidungen**

Die tragende Struktur des Maschinenhauses besteht aus Gusseisen, die Gondelverkleidung besteht aus Stahl.

Die Rotorblätter bestehen aus GFK-Material mit Epoxidharz/Balsaholz/Schaumstoff. Es sind keine weiteren Maßnahmen notwendig.

#### **3.2 Flucht- und Rettungswege**

In der WEA sind keine Aufenthaltsräume vorhanden. Es gelten nicht die Vorschriften an bauliche Rettungswege.

Der Maschinenraum der Gondel wird nur von geschultem Personal begangen. Die Flucht aus der Gondel der WEA erfolgt über eine fest installierte Steigleiter, die über die gesamte Turmhöhe hinab führt.

Für sonstige Notfälle sowie zur Rettung von Verletzten ist in der Gondel ein Evakuierungsgerät installiert, mit dem ein Notabstieg aus der Windenluke im Heck der Maschine oder im Turm möglich ist. Das Gerät ermöglicht den zweiten Rettungsweg und kann alle Personen in der Gondel nacheinander abseilen. Die Geräte müssen regelmäßig gewartet werden.

Die Flucht- und Rettungswege sind ausreichend.

## **4 Vorbeugender anlagentechnischer Brandschutz**

### **4.1 Brandmeldeanlage**

Es ist keine Brandmeldeanlage erforderlich.

### **4.2 Alarmierungseinrichtung**

Eine Alarmierungseinrichtung ist nicht erforderlich.

Die Gondel wird nur von geschultem Personal zu Wartungszwecke begangen. Für Notfälle trägt das Wartungspersonal immer ein Mobiltelefon bei sich. In der WEA ist weiterhin eine direkte Gegensprechanlage von der Gondel zum Turmfuß vorhanden.

### **4.3 Anlagentechnische Branderkennung und Brandmeldung**

Brandursache aus mechanischer Reibung wird vorgebeugt, indem wenig schnell drehende Teile verwendet werden und kein Getriebe vorhanden ist. Alle wichtigen Komponenten werden mit Temperaturfühlern überwacht. Erhöhte Temperaturen oder Überdrehzahlen führen zur sofortigen Abschaltung der WEA und Absendung einer Störmeldung über das ENERCON SCADA System zur Service-Zentrale.

Falls die Steuerung der Windenergieanlage einen unzulässigen Zustand erkennt, wird die Windenergieanlage mit verminderter Leistung weiter betrieben bzw. angehalten.

#### **4.3.1 Sensoren**

Mögliche Zündquellen werden laufend durch Sensoren überwacht.

Der Generator wird auf Plausibilität geprüft (Temperaturen, Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl). Fehler führen zur sofortigen Abschaltung der Anlage und Übermittlung einer Störmeldung auf die Service-Zentrale.

Folgende Parameter werden in der WEA permanent kontrolliert und bei Störungen wird die Anlage automatisch außer Betrieb genommen und die Störmeldung weitergeleitet.

- Temperatur in der Maschine
- Temperatur im Rotorkopf
- Lagertemperaturen der beiden Rotorlager
- Temperatur im Turm
- Außentemperatur
- Temperatur in allen Schaltschränken
- Temperatur, Druck und Öllevel des Transformators
- Funktionsbereitschaft der Kondensatorpakete für die Notabschaltung
- Erdschlusskennung für den Generator
- Differenzstromüberwachung für alle elektrischen Antriebe, um schwergängige bzw. überlastete Antriebe zu erkennen, u.a. Antriebe der Blattverstellung und die Windnachführung
- Fehlerstromerkennung für die Versorgungsleitungen Licht und Steckdose
- Funktion der Fernüberwachung
- Temperaturüberwachung Lüfter und Heizregister

Jedes der drei Rotorblätter der WEA ist mit einem im Fehlerfall energieautarken Blattverstellungssystem ausgestattet. In diesem Blattverstellungssystem ist eine Sicherheitssteuerung integriert, die die Rotorblätter bei einer Notfahrt gesteuert in Fahnenstellung fahren und beim Erreichen der Fahnenstellung die Energie von den Antriebsmotoren sicher abschaltet.

Bei einer Notbremsung des Rotors wird zusätzlich eine elektromechanische Rotorbremse eingesetzt.

#### **4.3.2 Rauchschalter**

Zur Detektion von Bränden werden zudem Rauchschalter eingesetzt, die bei Rauch, Verschmutzung, Störung und zu hoher Temperatur reagieren.

Bei den Rauchschaltern handelt es sich um Brandmelder mit optischer Rauchererkennung und zusätzlichem Temperaturfühler, der ab einer Umgebungstemperatur von 70°C anspricht. Es wird ein Signal an die Anlagensteuerung gesendet und die Gondellüfter werden ausgeschaltet.

Bei der Detektion von Feuer oder Rauch schaltet die Leistungselektronik ab, die Blätter drehen aus dem Wind, hierdurch wird die Rotationsbewegung auf ein Minimum reduziert bis hin zum Stillstand. Diese Statusmeldung wird mittels

ENERCON SCADA an die ENERCON Service-Zentrale gesendet.

In der Gondel der E-160 EP5 E3 wird die Temperatur an mehreren Stellen gemessen.

Bei der E-Gondel sind drei Rauchschalter vorhanden, a) im Maschinenhaus, b) im Transformatorraum und c) am Maschinenträger. Der Rauchschalter am Maschinenträger ist im unteren Bereich der Gondel verbaut und dient der Erkennung von Rauch im Turm.

Im unteren Turmbereich befinden sich Rauchschalter in der Nähe der Mittelspannungsschaltanlage.

#### **4.4 Lüftungsanlagen**

Aus brandschutztechnischer Sicht werden keine Anforderungen an die Lüftung gestellt.

Der Generator ist luftgekühlt, mit einer passiven äußeren Luftkühlung durch den Luftstrom und einer aktiven inneren Luftspaltkühlung.

#### **4.5 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen**

Es werden aus brandschutztechnischer Sicht keine Rauchabzüge benötigt. Eine Entrauchung ist durch permanente Öffnungen in der Gondel und der Thermik im Turm vorhanden.

#### **4.6 Blitzschutz**

Bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen gemäß DIN EN 62305 zu versehen. Es ist ein integrierter Blitzschutz von der Rotorblattspitze bis ins Fundament vorhanden und notwendig. Die Blitzschutzanlage wird nach der DIN EN 61400-24 Blitzschutz (Blitzschutzklasse I) für Windenergieanlagen ausgeführt.

## **5 Organisatorischer Brandschutz**

### **5.1 Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung und Brandbekämpfung sowie zur Rettung von Personen**

Die WEA wird regelmäßig spätestens nach 12 Monaten gewartet und überwacht. Das Verhalten im Brandfall und die Selbsthilfemaßnahmen werden entsprechend einer Gefährdungsbeurteilung regelmäßig geschult und geübt. Während der Wartung wird die Anlage außer Betrieb genommen, damit ist das Gefahrenrisiko verringert. Das Servicepersonal trägt bei den Wartungsarbeiten und einem eventuell notwendigen Probelauf der WEA seine persönliche Schutzausrüstung, somit ist ein Abseilen aus der Windenluke mit dem Abseilgerät sofort möglich.

### **5.2 Kennzeichnung von Rettungswegen**

Zur Beleuchtung der Wege während der Wartung ist eine Sicherheitsbeleuchtung gemäß ASR A3.4/3 erforderlich und wird installiert. Diese kann über batteriegepufferte Einzelleuchten realisiert werden.

Die Sicherheitsbeleuchtung der Windenergieanlage entspricht der DIN EN 50308 – Windenergieanlage-Schutzmaßnahmen-Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung - DIN EN1838 – Angewandte Lichttechnik-Notbeleuchtung-, und die DIN EN 50172 –Sicherheitsbeleuchtungsanlagen.

### **5.3 Flucht- und Rettungspläne**

Im Turmfuß und in der Gondel der Windenergieanlage sind jeweils ein Notrufplan und ein Flucht- und Rettungsplan angebracht. Alle notwendigen Informationen, z. B. die Koordinaten der Windenergieanlage und wichtige Rufnummern, sind auf dem Notrufplan zu finden.

### **5.4 Alarmierung der Feuerwehr**

Durch die zuvor beschriebene Anlagentechnik wird die WEA bei einer Detektion von Feuer oder Rauch automatisch abgeschaltet. Dabei wird eine Nachricht an eine vom Betreiber zu bestimmende Service-Zentrale gesendet. Diese benachrichtigt daraufhin die Leitstelle der Feuerwehr.

Gleichzeitig wird das Servicepersonal informiert, um umgehend die Windenergieanlage anzufahren und die Lage zu erkunden.

## **5.5 Einrichtungen zur Brandbekämpfung**

Zur Bekämpfung von Entstehungsbränden während der Wartung sind in der Gondel zwei 5kg CO<sub>2</sub>-Löscher und im Turm ein 2kg CO<sub>2</sub>-Löscher vorgehalten.

Im Fahrzeug der Servicekräfte wird ein weiterer CO<sub>2</sub>-Löscher mitgeführt. Diese ist für die Bekämpfung von allenfalls kleinsten Entstehungsbränden ausreichend. Selbstrettung geht vor Brandbekämpfung.

Die Feuerlöscher sind mindestens alle zwei Jahre durch einen Sachkundigen zu prüfen. Ein Vermerk über die letzte Prüfung ist fest oder plombiert am Feuerlöscher anzubringen.

## **5.6 Prüfungen technischer Anlagen und Einrichtungen**

Die Prüfungen von technischen Anlagen oder Einrichtungen werden durch Fachpersonal in Abständen von max. 12 Monaten durchgeführt.

## **5.7 Übung mit der Zuständigen Feuerwehr**

Vor Inbetriebnahme ist der örtlichen Feuerwehr und in Abstimmung mit der Brandschutzdienststelle, die Gelegenheit zu geben, sich mit dem Bauwerk vertraut zu machen.

## **6 Abwehrender Brandschutz**

### **6.1 Flächen für die Feuerwehr**

Die Anfahrt zur WEA erfolgt über die öffentliche Straße. Die Anfahrt bis an den Turmfuß geschieht über die befestigte Zuwegung. Die ausreichend befestigte und tragfähige Kranaufstellfläche während der Bauzeit bleibt nach Fertigstellung bestehen und kann durch die Feuerwehr genutzt werden.

Die Zufahrts- und Bewegungsflächen müssen, hinsichtlich ihrer Radien und Belastbarkeit, der Muster-Richtlinie „Flächen für die Feuerwehr“ entsprechen sowie frei und instandgehalten werden.

### **6.2 Löschwasserversorgung**

Aufgrund der besonderen Konstruktionsart der Windenergieanlagen der Firma ENERCON besteht keine erhöhte Brandlast oder Brandgefährdung. Im Falle eines Brandes werden eine größere Anzahl von Menschen, Tiere oder erhebliche Sachwerte nicht gefährdet.

Deshalb ist eine örtliche Löschwasserversorgung (Hydranten, Löschwasserbehälter usw.) nicht notwendig. Zur Erfüllung des abwehrenden Brandschutzes haben die Gemeinden die notwendige Löschwasserversorgung bereitzustellen und zu unterhalten. Bei einem Brand in der Gondel ist zunächst die Sicherung der Umgebung notwendig, und Löschwasser wird erst benötigt, wenn brennende Teile herabstürzen. Bei einem Brand im Turmfuß muss zunächst die Abschaltung der Anlage bestätigt werden, bis Löschwasser benötigt wird.

Ein Brand des Isolieröls sollte mit Mittelschaum gelöscht werden. Dafür wird das Auffangbecken mit einer Schicht Schaum bedeckt. Die erforderlichen Schaummittel stehen bei der Ausrüstung der Feuerwehr zur Verfügung.

### **6.3 Löschwasserrückhaltung**

Es ist ein Transformator verbaut, der mit max. 2060 Liter synthetischer, dielektrischer Flüssigkeit auf Esterbasis, dem Dielektrikum, gefüllt ist. Die Esterflüssigkeit ist ungiftig, leicht biologisch abbaubar und als allgemein wassergefährdend eingestuft. Esterflüssigkeiten zeichnen sich durch einen hohen Flammpunkt  $> 250 \text{ °C}$  aus. Die Flüssigkeit kann vollständig in einer dafür vorgesehenen Wanne, welche sich unterhalb des Transformators befindet, aufgefangen werden.

Zur Kühlung der Leistungsschränke in der Gondel wird als Kühlmittel 270 Liter Ethandio-Glykol-Gemisch (Glystantin G30 Ready Mix) eingesetzt. Die Kühlflüssigkeit ist nicht toxisch und gut biologisch abbaubar und in der Wassergefährdungsklasse 1 eingestuft.

Es werden in der WEA keine weiteren Stoffe gelagert. Eine Löschwasser-Rückhaltung ist bei diesen geringen Mengen nicht notwendig.

#### **6.4 Feuerwehrpläne**

Der einzige Zugang und die Aufstellfläche der WEA sind eindeutig. Der Turm ist für die Feuerwehr nicht zugänglich und der Turmfuß ist übersichtlich, damit sind keine Feuerwehrpläne notwendig.

#### **6.5 Hydrantenpläne**

Hydrantenpläne sind nicht notwendig.

#### **6.6 Brandbekämpfung**

Die Verhütung von Brandgefahren (vorbeugender Brandschutz) und die Brandbekämpfung (abwehrender Brandschutz) sind laut §2 BHKG Aufgaben der Gemeinden und Landkreise sowie des Landes.

Die Brandbekämpfung der WEA muss mit Hilfe der örtlichen Feuerwehr durchgeführt werden.

Es müssen folgende Brandszenarien unterschieden werden:

##### **6.6.1 Brand im Turmfuß**

Die Windenergieanlage gilt als abgeschlossene elektrische Betriebsstätte, die von der Feuerwehr nicht allein oder nur nach Freigabe begangen werden darf. Die gesamte Anlage muss spannungsfrei gemeldet werden. Die ständig besetzte Service-Zentrale informiert die Leitstelle der Feuerwehr. Bis zur Freigabe der Spannungsfreiheit der Transformatoren muss die Feuerwehr in einem angemessenen Abstand in Bereitstellung verbleiben.

Ein Brand im Turmfuß ist örtlich begrenzt. Der Brand kann sich weder auf die Gondel ausbreiten noch auf die Umgebung der Windenergieanlage auswirken.



### **6.6.2 Brand in der Gondel**

Ein Brand in der Gondel ist von der Feuerwehr nicht beherrschbar und stellt auch aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit somit das gesellschaftlich akzeptierte Risiko dar. Ein Feuer in der Gondel kann zu einem Ausbrennen der Gondel einschließlich der Gondelhülle und zu einem Übergreifen auf die Rotorblätter führen. Der Brand führt zum Abfallen der Teile. Bei einem Brand in der Gondel ist die Feuerwehr zunächst zum Schützen der Umgebung präsent.

### **6.6.3 Brand der Rotorblätter**

Ein Brand der Rotorblätter ist nicht beherrschbar. Da die Windenergieanlage bei Schäden sofort abgeschaltet ist, werden keine brennenden Teile durch weiter anhaltende Rotation umhergeschleudert. Ein Rotorblatt wiegt ca. 25 t. Es wird direkt herabfallen und dort weiterbrennen, eine Brandweiterleitung auf die Gondel ist nicht auszuschließen. Ein Brand der Rotorblätter führt in der Hauptsache zu brennend direkt herabfallenden mehr oder weniger großen Teilen. Bei einem Brand der Rotorblätter ist die Feuerwehr zunächst zum Schützen der Umgebung präsent.

### **6.6.4 Brandweiterleitung auf die Umgebung**

Die Alarmierung der Feuerwehr ist bei einem Schadenseintritt an der WEA wahrscheinlich früher als bei einem Sekundärbrand. Bei einem der o.g. Brände ist zunächst die Sicherung der Umgebung notwendig. Bei herabfallenden brennenden Teilen wird die Einsatzleitung geeignete Maßnahmen zur Brandbekämpfung nach Erkundung einleiten.

Da die Feuerwehr bereits vor Ort ist, können Entstehungsbrände sofort gelöscht werden. Eine Brandweiterleitung auf die Umgebung wird somit verhindert.

## **7 Verwendete Rechenverfahren nach Methoden des Brandschutzingenieurwesens**

Es wurden keine Rechenverfahren des Brandschutzingenieurwesens verwendet.

## **8 Abweichungen**

Es sind keine brandschutztechnischen Abweichungen zu berücksichtigen.

## 9 Zusammenfassung

Die Unterzeichnerin wurde beauftragt, für die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-160 EP5 E3 mit 120 m Nabenhöhe, ein Brandschutzkonzept gemäß Musterbauordnung (MBO) zu erstellen.

Bei Beachtung der dargestellten Maßnahmen, Anforderungen und Hinweise sowie der allgemein anerkannten Regeln der Technik bestehen aus brandschutztechnischer Sicht


### **keine Bedenken**

für die Errichtung und Windenergieanlage Typ ENERCON E-160 EP5 E3.

Vorstehende Stellungnahme wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Zugrundelegung der anerkannten Regeln der Technik ohne Ansehen der Person des Auftraggebers angefertigt.

Aufgestellt

Sandkrug, den 13.07.2021

  
Dipl.-Ing. Monika Tegtmeier  
ö.b.u.v. Sachverständige für den  
vorbeugenden baulichen Brandschutz  
Prüferin für den Brandschutz (EBA)  
Brandamtfrau a.D.



# Technische Beschreibung

Brandschutz

ENERCON Windenergieanlagen EP5

**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Stefan Lütkemeyer, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

#### **Dokumentinformation**

<b>Dokument-ID</b>	D0736681/4.2-de
<b>Vermerk</b>	Originaldokument

<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2021-01-27	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

### Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Dokument-ID	Dokument
EN 60204-1:2006	Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen
IEC 61100:2008	Einteilung von Isolierflüssigkeiten

Dieses Dokument gilt für ENERCON Windenergieanlagen der Plattform EP5 (E-136 EP5, E-147 EP5, E-147 EP5 E2, E-160 EP5, E-160 EP5 E2, E-160 EP5 E3).

## **Brandschutz**

Für ENERCON Windenergieanlagen wurden zahlreiche Maßnahmen getroffen, die die Brandeintrittswahrscheinlichkeit, die Brand- und Rauchausbreitung und den Personen- und Sachschaden auf ein Minimum reduzieren.

### **Technische Brandschutzmaßnahmen**

#### **Vermeidung von Zündquellen**

Die Windenergieanlage ist mit einem Blitzschutzsystem ausgestattet, das Blitzeinschläge ableitet, ohne dass Schäden an der Windenergieanlage entstehen.

Das Antriebssystem der Windenergieanlage ist getriebeles. Wesentliche Brandgefahren, erzeugt durch heißlaufende Getriebe und entflammbare Getriebeöle, werden dadurch beseitigt.

Die elektrische Ausrüstung und die Überstromschränken entsprechen der EN 60204-1:2006. Am Generator und an der Turmverkabelung der Prototypen werden Thermografieuntersuchungen durch einen Sachverständigen durchgeführt. Anhand der Ergebnisse wird ggf. die Konstruktion angepasst.

#### **Vermeidung der Brandentstehung**

Brennbare Baustoffe und Materialien sind möglichst so angeordnet, dass sie durch mögliche Zündquellen (z. B. Wärmeenergie, ungewöhnliche Temperaturanstiege, elektrische Energie, zufällige Funken und Lichtbögen, hoher Spitzenstrom von Transienten und mechanische Energie) nicht entzündet werden können. Elektrische Komponenten werden in Schaltschränken aus Stahlblech gekapselt.

Eingesetzt werden, wo möglich, schwer entflammbare Baustoffe sowie selbstverlöschende/flammwidrige oder nicht brennbare Materialien, z. B. flammwidrige und selbstverlöschende Leistungskabel. Als Isolations- und Kühlungsflüssigkeit des Leistungstransformators wird synthetischer Ester eingesetzt, der schwerentflammbar ist, einen hohen Brennpunkt von  $> 300\text{ °C}$  (Kühlmittelart K3 nach IEC 61100:2008) hat und einen geringen spezifischen Heizwert aufweist. Der Einsatz brennbarer Materialien, z. B. geschäumte Kunststoffe wie Polyurethan oder Polystyrol als Dämmstoff oder Kunststoffe für Abdeckungen und sonstige Bauteile, wird, wo möglich, vermieden.

#### **Sensorische Überwachung**

Mögliche Zündquellen in der Windenergieanlage werden laufend durch Sensoren überwacht.

Zur Detektion von Bränden werden zudem Rauchschalter eingesetzt. Die Rauchschalter reagieren bei Rauch, Verschmutzung, Störung und zu hoher Temperatur. Die Rauchschalter sind so in der Windenergieanlage positioniert, dass Brände im Turm und in der Gondel erkannt werden. Die genaue Position und die Anzahl der Rauchschalter sind abhängig vom Windenergieanlagentyp.

Wenn die Windenergieanlage eine potentiell sicherheitsrelevante Störung (z. B. Rauch) erkennt, hält die Windenergieanlage an (auch bei Netzausfall) und generiert eine Statusmeldung, die das ENERCON SCADA System sofort an den ENERCON Service weiterleitet.

#### **Fluchtwege**

Der erste Fluchtweg führt von der Gondel durch den Turm nach draußen. Dieser Fluchtweg wird benutzt, falls der Abstieg im Turm möglich ist.

Ein alternativer zweiter Fluchtweg führt durch die Kranluke der Gondel nach draußen. Über diesen zweiten Fluchtweg kann die Gondel verlassen werden, ohne dass der Turm betreten werden muss.

In der Windenergieanlage ist entlang der Fluchtwege eine akkugestützte Beleuchtung mit einer Leuchtdauer von mindestens 1 Stunde installiert. Bei einem Netzausfall schaltet sich die Beleuchtung automatisch ein.

## **Organisatorische Brandschutzmaßnahmen**

### **Schutzmaßnahmen während des Betriebs**

Während des Betriebs befinden sich in der Regel keine Personen in der Windenergieanlage. Die Windenergieanlage ist verschlossen.

Falls eine empfangene Statusmeldung auf einen Brand hindeutet, entsendet der ENERCON Service umgehend ein Serviceteam zur Windenergieanlage und alarmiert die Feuerwehr, die vor Ort über weitere Maßnahmen entscheidet. Der ENERCON Service ist täglich 24 Stunden erreichbar.

### **Schutzmaßnahmen während der Wartung**

Die Windenergieanlage wird im Rahmen einer Wartung alle 6 bis 12 Monate von 2 bis 4 Personen betreten. Diese Personen sind mit der Windenergieanlagentechnik und der Rettung aus der Windenergieanlage vertraut. Während der Wartung ist die Windenergieanlage die meiste Zeit außer Betrieb. Die Leistungselektronik ist abgeschaltet. Nur wenige Komponenten, z. B. Beleuchtung, Steckdosen und Steuerung, bleiben aktiv. Dadurch wird das Brandrisiko bei Anwesenheit von Personen reduziert.

Zur Bekämpfung von Entstehungsbränden stehen CO<sub>2</sub>-Feuerlöscher im Turmfuß, im Maschinenhaus und im ENERCON Servicefahrzeug bereit. Der Wartungsschalter ist eingeschaltet, wodurch Statusmeldungen nicht an den ENERCON Service weitergeleitet werden. Wartungen an Branderkennungselementen führen somit nicht zu Fehlalarmen beim ENERCON Service.

Für den Brandfall sind alle ggf. benötigten Informationen zur Windenergieanlage (Koordinaten, Anfahrtsbeschreibung, wichtige Rufnummern naher Stellen) und zum Verhalten im Brandfall und bei Unfällen im Notruf-Ablaufplan bzw. im Flucht- und Rettungsplan eingetragen. Der Plan ist im Eingangsbereich des Turms angebracht. Das Verhalten im Brandfall und bei Unfällen wird zusätzlich in der Betriebsanleitung der Windenergieanlage beschrieben.

## **Brandschutz und Brandbekämpfung durch die Feuerwehr**

Die Feuerwehr kann aufgrund der Alarmierung durch den ENERCON Service schnell am Einsatzort sein und Brände ggf. vor der weiteren Ausbreitung löschen. Die Kranstellfläche steht als Stellfläche zur Verfügung. Der Ablauf der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr wird im Brandschutzkonzept der Windenergieanlage genauer beschrieben.

### **Brand im Turmfuß**

Ein Brand im Turmfuß ist örtlich begrenzt. Der Brand kann sich weder auf die Gondel ausbreiten noch auf die Umgebung der Windenergieanlage auswirken. Sobald die Windenergieanlage spannungsfrei geschaltet wurde, kann der Brand im Turmfuß gelöscht werden.

### **Brand in der Gondel**

Ein Brand in der Gondel kann zu einem Ausbrennen der Gondel und zu einem Übergreifen auf die Rotorblätter führen. Die Rotorblätter stehen zu diesem Zeitpunkt bereits still. Ein brennendes Rotorblatt wird nach längerer Brandeinwirkung aufgrund seines Gewichts an der Blattwurzel abknicken und auf die Aufstellfläche herabfallen.



Die Feuerwehr kann einen Brand in der Gondel nicht bekämpfen, jedoch den Zugang zum Gefahrenbereich der Windenergieanlage weiträumig absperren und die Gondel und herabfallende Teile kontrolliert abbrennen lassen.

**Allgemeines**

**Brandschutzkonzept**

**für die Errichtung  
einer  
Windenergieanlage**

**des Typs ENERCON E-160 EP5 E3**

**mit 166 m Nabenhöhe**

Auftraggeber: WRD Management Support GmbH  
Borsigstr. 26  
26607 Aurich

## INHALTSÜBERSICHT

	Seite
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
1.1 Auftrag.....	4
1.2 Gesetzliche Grundlagen, Regelwerke .....	5
1.3 Verwendete Unterlagen.....	5
1.4 Schutzziele .....	6
1.5 Bestimmung der Gesamthöhe.....	6
1.6 Einstufung des Gebäudes .....	6
1.7 Risikobeurteilung der Maschine .....	7
<b>2 Gebäudetechnische Daten und Nutzungen</b> .....	<b>8</b>
2.1 Allgemein.....	8
2.2 Äußere Erschließung.....	8
2.3 Innere Erschließung .....	8
2.4 Nutzung der Windenergieanlage .....	9
2.4.1 Allgemeines .....	9
2.4.2 Funktion .....	9
2.4.3 Zahl der Nutzer .....	9
2.4.4 Betrieb; Wartung .....	9
2.4.5 Beschreibung der Einrichtungen der WEA .....	10
2.5 Risikoanalyse .....	11
2.5.1 Brandlasten und Brandgefährdungspotential.....	11
2.5.2 Wahrscheinlichkeit eines Brandereignisses .....	11
<b>3 Vorbeugender Brandschutz</b> .....	<b>14</b>
3.1 System der äußeren und inneren Abschottungen; Anforderungen an Bauteile und Baustoffe .....	14
3.1.1 Anordnung und Lage von Rauchabschnitten.....	14
3.1.2 Brandschutztechnische Abschnittsbildung .....	14
3.1.3 Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile .....	14
3.1.4 Nichttragende Außenwände und -bekleidungen.....	14
3.2 Flucht- und Rettungswege .....	14
<b>4 Vorbeugender anlagentechnischer Brandschutz</b> .....	<b>15</b>
4.1 Brandmeldeanlage .....	15
4.2 Alarmierungseinrichtung.....	15
4.3 Anlagentechnische Branderkennung und Brandmeldung .....	15
4.3.1 Sensoren .....	15
4.3.2 Rauchschalter .....	16
4.4 Lüftungsanlagen.....	17
4.5 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen .....	17
4.6 Blitzschutz .....	17
<b>5 Organisatorischer Brandschutz</b> .....	<b>18</b>
5.1 Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung und Brandbekämpfung sowie zur Rettung von Personen.....	18
5.2 Kennzeichnung von Rettungswegen .....	18
5.3 Flucht- und Rettungspläne .....	18
5.4 Alarmierung der Feuerwehr.....	18
5.5 Einrichtungen zur Brandbekämpfung .....	19
5.6 Prüfungen technischer Anlagen und Einrichtungen.....	19
5.7 Übung mit der Zuständigen Feuerwehr .....	19
<b>6 Abwehrender Brandschutz</b> .....	<b>20</b>
6.1 Flächen für die Feuerwehr .....	20
6.2 Löschwasserversorgung .....	20

6.3	Löschwasserrückhaltung .....	20
6.4	Feuerwehrpläne .....	21
6.5	Hydrantenpläne .....	21
6.6	Brandbekämpfung .....	21
6.6.1	Brand im Turmfuß .....	21
6.6.2	Brand in der Gondel .....	22
6.6.3	Brand der Rotorblätter .....	22
6.6.4	Brandweiterleitung auf die Umgebung .....	22
<b>7</b>	<b>Verwendete Rechenverfahren nach Methoden des Brandschutzingenieurwesens .....</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Abweichungen .....</b>	<b>23</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>24</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Auftrag

Die Unterzeichnerin wurde am 28.06.2021 beauftragt, für die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-160 EP5 E3 mit 166 m Nabenhöhe, ein Brandschutzkonzept gemäß Musterbauordnung (MBO) zu erstellen.

Ein Brandschutzkonzept ist eine zielorientierte Gesamtbewertung des baulichen und abwehrenden Brandschutzes bei Gebäuden besonderer Art oder Nutzung. Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird. Die nachfolgend aufgeführten Maßnahmen berücksichtigen die Anforderungen für dieses Objekt.

Das Brandschutzkonzept beinhaltet die Einzelmaßnahmen aus

- vorbeugendem Brandschutz
- organisatorischem (betrieblichem) Brandschutz und
- abwehrendem Brandschutz.

Unter Berücksichtigung

- der Nutzung
- des Brandrisikos und
- des zu erwartenden Schadenausmaßes

werden im Brandschutzkonzept die Einzelkomponenten und ihre Verknüpfung im Hinblick auf die Schutzziele beschrieben.

Es werden nur die brandschutztechnischen Belange berücksichtigt, Eiswurf oder immissionsschutzrechtliche Belange werden nicht betrachtet.

## 1.2 Gesetzliche Grundlagen, Regelwerke

Folgende Gesetze und Richtlinien wurden zur Erstellung des vorliegenden Brandschutzkonzeptes berücksichtigt:

- /1/ MBO – Musterbauordnung, vom 1. November 2002 in der Fassung vom 27.09.2019 (ARGEBAU)
- /2/ MBauVorIV – Musterbauvorlagenverordnung, Muster einer Verordnung über Bauvorlagen und bauaufsichtliche Anzeigen, Fassung Februar 2007 (Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU)
- /3/ DIN 4102: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, in der zurzeit gültigen Fassung und allen veröffentlichten Teilen
- /4/ DIN EN 62305-1, Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Ausgabe Oktober 2011; Berichtigung 1, Ausgabe Dezember 2015
- /5/ Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG, vom 17.05.2006
- /6/ 9. ProdSV - Maschinenverordnung, Neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Maschinenrichtlinie) vom 12.05.1993 zuletzt geändert am 08.11.2011

## 1.3 Verwendete Unterlagen

Zur Erstellung standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

Unterlagen	Dokumenten-Nr.	Datum
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3	D02225927/2.0	08.06.2021
Gondelübersicht	D02399059/0.1	17.06.2021
Gondelabmessungen E-160 EP5 E3	D02252048/0.1	ohne
Technische Beschreibung Turm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01	D02375238/0.3	ohne
Technisches Datenblatt Turm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01	D02375235/0.2	14.06.2021
Ansichtszeichnung Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01 Turm/ Gondel/Blätter	EP5.00.011-2 D02382587-2.0	05.07.2021
Technisches Datenblatt, Rotorblatt LM 78.3 P mit Hinterkantenkamm	D0858735/3.2	ohne
Technische Beschreibung Wassergefährdende Stoffe* ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3	D02399222/0.4	28.06.2021
Technische Beschreibung Einrichtungen zum Arbeits-, Personen- und Brandschutz	D0446785/2.3	22.03.2021
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Blitzschutz	D0260891-12	26.11.2020
Datenblatt Installationsorte der Feuerlöscher	D0648865/7.1	01.07.2021
Technische Beschreibung Anlagensicherheit ENERCON Windenergieanlage EP5	D0765718-1	29.05.2019
Technische Beschreibung Warnsignalisierung bei unsicheren Betriebszuständen	D1007126/1.0	23.03.2021
Datenblatt Installationsorte der Rauchschalter	D0701831/2.2	17.03.2021
Verhalten im Notfall	ID0X10	ohne
Technische Beschreibung Brandschutz EP5	D0736681/4.2	27.01.2021

<b>Unterlagen</b>	<b>Dokumenten-Nr.</b>	<b>Datum</b>
Technische Beschreibung ENERCON Aufstiegshilfe	D0917105-1	12.11.2020
Spezifikation Zuwegung und Baustellenflächen E-160 EP5 E3, 166 m, Hybridturm	D02284867/0.1	11.06.2021

**Tabelle 1: Unterlagen**

\*In dem Dokument Wassergefährdende Stoffe sind alle Stoffe mit Mengenangaben aufgeführt, die in der WEA Verwendung finden, mit der Auflistung der entsprechenden Sicherheitsdatenblätter.

## **1.4 Schutzziele**

Für die Beurteilung der zu errichtenden Windenergieanlagen gelten die materiellen Vorschriften der Musterbauordnung. Bauliche Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind (§14 MBO).

## **1.5 Bestimmung der Gesamthöhe**

Die Windenergieanlage weist eine Nabenhöhe von ca. 167 m auf und der Rotor hat einen Durchmesser von ca. 160 m. Die Rotorblattlänge beträgt ca. 78 m. Damit ergibt sich eine Gesamthöhe von ca. 247 m.

## **1.6 Einstufung des Gebäudes**

In den WEA befinden sich keine Aufenthaltsräume gemäß § 47 MBO. Die Anlagen werden nur temporär zu Wartungs- und Reparaturzwecken begangen.

Sie ist eine freistehende Maschine gemäß Maschinenrichtlinie.

Die WEA mit mehr als 30 m Höhe über der Geländeoberfläche im Mittel werden als Sonderbauten im Sinne des § 2 (4) Nr. 2 MBO eingestuft.

Eine Windenergieanlage ist eine bauliche Anlage besonderer Art und Nutzung, an der im Einzelfall zur Verwirklichung der allgemeinen Anforderungen besondere Anforderungen gestellt werden. Erleichterungen können gestattet werden, soweit es der Einhaltung von Vorschriften wegen der besonderen Art oder Nutzung baulicher Anlagen nicht bedarf.

## **1.7 Risikobeurteilung der Maschine**

Der Hersteller ist verpflichtet für die komplette WEA eine Risikobeurteilung nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG durchzuführen.

Der auf dem Turm angeordnete maschinentechnische Teil der Windenergieanlage, hierzu zählen u.a. die Rotorblätter sowie die Nabe, die regelungs- und elektrotechnischen Komponenten, der Generator, die Lager und die Bremse, entsprechen laut Hersteller den anerkannten Regeln der Technik.



## **2 Gebäudetechnische Daten und Nutzungen**

### **2.1 Allgemein**

Bei dem Bauvorhaben handelt es sich um eine Errichtung einer Windenergieanlage der Firma ENERCON mit der Typbezeichnung E-160 EP5 E3 mit 166 m Nabenhöhe.

Als Träger der Windenergieanlage Typ E-160 EP5 dient ab Fundamentoberkante ein Hybridturm, bestehend aus 31 Fertigteilbetonsegmenten, im oberen Bereich schließen sich 3 Stahlrohrsegmente an.

Die tragende Struktur des Maschinenhauses besteht aus Gusseisen, die Gondelverkleidung besteht aus Stahl. Die Rotorblätter werden aus GFK, Epoxidharz, Balsaholz und Schaumstoff hergestellt.

### **2.2 Äußere Erschließung**

Die äußere Erschließung erfolgt über die öffentliche Verkehrsfläche und weiter über befestigte Wege zur WEA.

### **2.3 Innere Erschließung**

Die Turmeingangstür befindet sich auf Höhe der Fundamentoberkante. Sie ist abschließbar und kann von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden. Der Zutritt von außen ist nur mit Schlüssel möglich.

Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Sicherheitssteigleiter in Kombination mit einer Steigschutzeinrichtung gemäß DIN EN ISO 14122-4:2016. Zwischen der Eingangsebene und dem oberen Ende des Turms sind Podeste angeordnet. Diese Podeste werden im Werk vorinstalliert und während des Montageprozesses komplettiert. Sie dienen als feste Arbeitsbühne sowie als Ruhebühne beim Auf- und Abstieg. Zum problemlosen Durchstieg befinden sich in den Podesten mit Klappen abgedeckte Luken.

Zusätzlich wird eine Aufstiegshilfe (Nutzlast 240 kg) nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG eingebaut. Sie fährt leitergeführt bis zu einem Podest einige Meter unterhalb des Turmkopfs. Für die restliche Strecke wird die Sicherheitssteigleiter mit Steigschutzeinrichtung benutzt.

Auf der Eingangsebene befindet sich das TBCU (Tower Base Control Unit), hier ist ein Energieumwandlerschrank, die Mittelspannungsschaltanlage, der Steuerschrank zur Bedienung der Windenergieanlage sowie eine

unterbrechungsfreie Stromversorgung untergebracht. Die Bedienung erfolgt über das Human Maschine Interface (HMI), welches sich auf der Eingangsebene befindet.

Der Aufstieg im Turm ist für die Feuerwehr im Brandfall nicht vorgesehen.

## **2.4 Nutzung der Windenergieanlage**

### **2.4.1 Allgemeines**

Die WEA dient zur Wandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrische Energie. Durch das getriebelose Anlagenkonzept (Direktantrieb) besitzt der Antriebsstrang keine schnell drehenden Komponenten, kein Getriebeöl. Auf Grund dessen verringert sich wesentlich die Brandentstehungswahrscheinlichkeit.

### **2.4.2 Funktion**

Im Maschinenhaus, das auf dem Turm montiert ist, liefert ein Ringgenerator, der direkt an der Nabe mit den Rotorblättern angekoppelt ist, die elektrische Energie. Die erzeugte Energie wird in einem Wechselrichtersystem in eine netzkonforme Spannung umgewandelt. Der Transformator in der Gondel transformiert die erzeugte Spannung auf das Niveau des Stromnetzes, in das der Strom eingespeist wird. Über die Mittelspannungsschaltanlage im Turmfuß wird der Transformator mit dem aufnehmenden Stromnetz zusammengeschaltet.

### **2.4.3 Zahl der Nutzer**

Die Zahl der Nutzer wird vom Grundsatz mit „keine“ angegeben. Es befinden sich keine Aufenthaltsräume in der Windenergieanlage, nur zu Wartungszwecken halten sich 2 bis 6 Personen in der Anlage auf.

### **2.4.4 Betrieb; Wartung**

Die WEA ist im Betrieb unbemannt und verschlossen. Der Betrieb wird automatisch durch eine Fernabfrage überwacht. Die Daten werden in einer Zentrale ausgewertet, die permanent besetzt ist. Bei Störungen schaltet die WEA selbsttätig ab, wobei die Abschaltung über ein mehrfach redundantes System, auch bei Netzausfall, erfolgt. Die WEA wird bei einer Störung bis zur Reparatur nicht freigegeben.

Die Begehung zur Wartung mindestens einmal jährlich routinemäßig statt. Bei den Begehungen ist die Anlage außer Betrieb. Wird ein Probelauf notwendig, muss hierfür das Servicepersonal ihr Abseilgeschirr tragen, um sich bei eventuellen Störungen oder einem Brand über den 1. Fluchtweg durch den Turm oder bei versperrten 1. Fluchtweg über den 2. Fluchtweg durch die Luke im Maschinenhaus zu evakuieren.

Die Wartungen werden nur durch Fachpersonal ausgeführt, welches auf die Anlagentechnik und der Rettung aus der Windenergieanlage geschult ist.

Für diesen kurzzeitigen Probelauf bestehen aus brandschutztechnischer Sicht keine Bedenken.

#### 2.4.5 Beschreibung der Einrichtungen der WEA

Bezeichnung	Bereich	Anlagen	Zugangsberechtigung
Gondel mit Rotoren	Maschine	Ringgenerator Nebenaggregate Schaltschränke Transformator	unterwiesenes Personal
Turm	Turm	Mittelspannungskabel (400 V)	unterwiesenes Personal
Fuß	E-Modul	Schaltschränke	Feuerwehr / unterwiesenes Personal/ Elektrofachleute

Tabelle 2: Beschreibung WEA

## 2.5 Risikoanalyse

### 2.5.1 Brandlasten und Brandgefährdungspotential

Die folgende Tabelle dient als Übersicht in welchen Anlagenteilen sich die Brandlasten befinden und wodurch ein Brand entstehen kann:

Bezeichnung	Anlagen	Brandlasten	Brandgefahren
Gondel	Schaltschränke	Kabel	elektrische Störung
	diverse Kabel	Kabel	
	Azimutgetriebe	10 Stellmotoren zur Windnachführung je ca. 18 l Öl	durch Reibung und elektrische Störungen
	Blattflanschlagerlaufbahn	3 Lager mit je 25 l Fett	
	Blattverstellgetriebe	3 Antriebe für die Blattverstellung je 21 l Öl	
	Azimutlager	Ca. 14 l Fett	
	Zentralschmiereinheit	Schmierstoffe insgesamt ca. 22 l	
	Hydrauliksystem	Hydraulikaggregat und Rotorhaltebremse 11 l Öl	
	Transformator	max. 2.060 l synthetische Ester MIDEL 7131	
	Gondelverkleidung	Stahl	
Turm	Mittelspannungskabel 400V	Kabel	durch elektrische Störungen
	Aufstiegshilfe	Schmierstoffe ca. 2,9 l	
Fuß	Schaltschränke	Kabel Verteiler	durch elektrische Störungen
	USV-Schaltschrank Schaltschränke		
Rotor	Rotorblatt	Glasfaserverstärkter Kunststoff, Epoxidharz, Holz, Schaumstoff 25 t ohne Blattheizung	Blitzschlag; Brandüberschlag zwischen Gondel und Rotorblättern, durch elektrische Störungen der Blattheizung

Tabelle 3: Brandlasten

### 2.5.2 Wahrscheinlichkeit eines Brandereignisses

Der Brand lässt sich nach den Normen der Feuerwehren DIN 14011 als nicht bestimmungsgemäßes Brennen, das sich unkontrolliert ausbreiten kann,

definieren. Bei einer Brandentstehung und auch für eine Brandausbreitung müssen bestimmte Voraussetzungen vorhanden sein. Diese Voraussetzungen können in die Gruppe der stofflichen Voraussetzungen und in die Gruppe der energetischen Voraussetzungen unterteilt werden. Damit es zum Brennen kommt, bedarf es eines energetischen Anstoßes, d.h. es muss dem Brandgut genügend Zündenergie zugeführt werden. Neben der Zündtemperatur, die für das Einleiten der Verbrennung bzw. das Entzünden ausschlaggebend ist, wird für das selbstständige Brennen eine Mindestverbrennungstemperatur benötigt. Die Mindestverbrennungstemperatur kennzeichnet den Reaktionszustand eines Systems, bei dem die Reaktionswärme gerade noch ausreicht, um den Energiekreislauf unter Berücksichtigung der Wärmeverluste zu schließen, so dass das Feuer nicht erlischt. Aufgrund der überschüssigen Reaktionswärme, die für die Aufbereitung und Aktivierung nicht verbraucht wird, steigt die Temperatur im System selbständig weiter auf die Brandtemperatur an, welche letztendlich getrennt als Flammentemperatur und als Brandraumtemperatur (Rauchgastemperatur) interpretiert wird.

Brandereignisse sind gefährliche Brände, bei denen angenommen wird, dass sich ein Entstehungsbrand zu einem fortentwickelten Brand ausbreiten kann.

Während zur Gewährleistung der Standsicherheit in der Bauordnung gefordert und formuliert wird, dass die baulichen Anlagen standsicher sein müssen, wird demgegenüber die Anforderung zur Gewährleistung des Brandschutzes auf die Beschaffenheit der baulichen Anlage abgestellt:

Es wird in der Bauordnung offenbar nicht auf eine bestimmte Sicherheit (Brandsicherheit) abgestellt, sondern es werden vielmehr die Schutz- und Sicherungsziele ganz allgemein benannt. Deren Erfüllung entsprechend den bauordnungsrechtlichen Einzelvorschriften ergibt jedoch „stillschweigend“, analog zur Standsicherheit, ein bestimmtes Sicherheitsniveau. Dieses Sicherheitsniveau lässt sich semiprobabilistisch derzeit mittels der Versagenswahrscheinlichkeit von  $1 \times 10^{-6}$  (bei großen Risiken pro Ereignis) bis  $1 \times 10^{-5}$  pro Gebäude je  $m^2$  und Jahr beschreiben. Das Risiko ist theoretisch durch die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines Brandes und die Ausbreitung zu einem gefährlichen Brand pro Bezugsfläche und pro Zeiteinheit sowie dem zu erwartenden Schadensumfang gegeben.

Nach der Normdefinition gelten brennbare Stoffe in geschlossenen Behältern aus Stahlblech oder anderen nicht zerbrechlichen und im Brandverhalten vergleichbaren Werkstoffen als „geschützt“ (TSF, Leistungsschrank, Steuerschrank und USV). Die Schutzwirkung der Systeme ist gewährleistet, d.h. die Stahlschränke werden durch das Gehäuse und dadurch, dass kein Sauerstoff zugeführt wird, geschützt.

Die Zündwahrscheinlichkeit von nicht erhitzten Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt  $> 100^{\circ}\text{C}$  in Maschinen (hier Dielektrikum im Transformator) wird vom DIN-Ausschuss für so gering angesehen, dass hier ein Beitrag zur Brandbelastung nur bei Leckage vorstellbar ist.

Die Mittelspannungs-Schaltanlage ist eine SF<sub>6</sub>-gasisolierte Anlage und somit nicht brennbar. Diese Brandlast bleibt unberücksichtigt.

Die Windenergieanlage besitzt ein getriebeloses Antriebssystem. Rotornabe und Ringgenerator sind ohne Getriebe als feste Einheit direkt miteinander verbunden. Das Fehlen von Getriebe und Getriebeöl verringert wesentlich die Brandentstehungswahrscheinlichkeit.

Ein Brand an den Rotorblättern ist unwahrscheinlich, jedoch nicht endgültig auszuschließen. Ein Vollbrand in der Gondel oder die Installation einer Blattheizung können Brandursachen für den Brand eines Rotorblattes sein.

Sofern eine Blattheizung installiert ist, ist sie Teil der Rotoren und unterliegt den allgemein Technischen Regeln für Maschinen. Entsprechend sind anlagentechnische Sicherungen als Konsequenz der Risikobeurteilung des Herstellers eingebaut die dazu führen, dass die Blattheizung oder die gesamte WEA abgeschaltet wird und dass eine Alarmierung über die Weiterschaltung an eine ständig besetzte Stelle erfolgt. Die Folgemaßnahmen sind im organisatorischen Brandschutz unter anderem durch Begutachtung durch das Service-Personal geregelt.

Daraus resultiert, dass aufgrund der besonderen Konstruktionsart und der Anlagenüberwachung der Windenergieanlage der Firma ENERCON keine erhöhte Brandgefährdung besteht und dem Brandschutz anlagentechnisch und organisatorisch erheblich Rechenschaft getragen wird.

### **3 Vorbeugender Brandschutz**

#### **3.1 System der äußeren und inneren Abschottungen; Anforderungen an Bauteile und Baustoffe**

##### **3.1.1 Anordnung und Lage von Rauchabschnitten**

Eine Unterteilung in Rauchabschnitte ist nicht erforderlich.

##### **3.1.2 Brandschutztechnische Abschnittsbildung**

Eine brandschutztechnische Abschnittsbildung in dem Sonderbau ist nicht erforderlich.

##### **3.1.3 Feuerwiderstandsdauer der tragenden und aussteifenden Bauteile**

An den Hybridturm werden keine Anforderungen hinsichtlich der Feuerwiderstandsdauer gestellt.

##### **3.1.4 Nichttragende Außenwände und -bekleidungen**

Die tragende Struktur des Maschinenhauses besteht aus Gusseisen, die Gondelverkleidung besteht aus Stahl.

Die Rotorblätter bestehen aus GFK-Material mit Epoxidharz/Balsaholz/Schaumstoff. Es sind keine weiteren Maßnahmen notwendig.

#### **3.2 Flucht- und Rettungswege**

In der WEA sind keine Aufenthaltsräume vorhanden. Es gelten nicht die Vorschriften an bauliche Rettungswege.

Der Maschinenraum der Gondel wird nur von geschultem Personal begangen. Die Flucht aus der Gondel der WEA erfolgt über eine fest installierte Steigleiter, die über die gesamte Turmhöhe hinab führt.

Für sonstige Notfälle sowie zur Rettung von Verletzten ist in der Gondel ein Evakuierungsgerät installiert, mit dem ein Notabstieg aus der Windenluke im Heck der Maschine oder im Turm möglich ist. Das Gerät ermöglicht den zweiten Rettungsweg und kann alle Personen in der Gondel nacheinander abseilen. Die Geräte müssen regelmäßig gewartet werden.

Die Flucht- und Rettungswege sind ausreichend.

## **4 Vorbeugender anlagentechnischer Brandschutz**

### **4.1 Brandmeldeanlage**

Es ist keine Brandmeldeanlage erforderlich.

### **4.2 Alarmierungseinrichtung**

Eine Alarmierungseinrichtung ist nicht erforderlich.

Die Gondel wird nur von geschultem Personal zu Wartungszwecke begangen. Für Notfälle trägt das Wartungspersonal immer ein Mobiltelefon bei sich. In der WEA ist weiterhin eine direkte Gegensprechanlage von der Gondel zum Turmfuß vorhanden.

### **4.3 Anlagentechnische Branderkennung und Brandmeldung**

Brandursache aus mechanischer Reibung wird vorgebeugt, indem wenig schnell drehende Teile verwendet werden und kein Getriebe vorhanden ist. Alle wichtigen Komponenten werden mit Temperaturfühlern überwacht. Erhöhte Temperaturen oder Überdrehzahlen führen zur sofortigen Abschaltung der WEA und Absendung einer Störmeldung über das ENERCON SCADA System zur Service-Zentrale.

Falls die Steuerung der Windenergieanlage einen unzulässigen Zustand erkennt, wird die Windenergieanlage mit verminderter Leistung weiter betrieben bzw. angehalten.

#### **4.3.1 Sensoren**

Mögliche Zündquellen werden laufend durch Sensoren überwacht.

Der Generator wird auf Plausibilität geprüft (Temperaturen, Leistung in Abhängigkeit der Drehzahl). Fehler führen zur sofortigen Abschaltung der Anlage und Übermittlung einer Störmeldung auf die Service-Zentrale.



Folgende Parameter werden in der WEA permanent kontrolliert und bei Störungen wird die Anlage automatisch außer Betrieb genommen und die Störmeldung weitergeleitet.

- Temperatur in der Maschine
- Temperatur im Rotorkopf
- Lagertemperaturen der beiden Rotorlager
- Temperatur im Turm
- Außentemperatur
- Temperatur in allen Schaltschränken
- Temperatur, Druck und Öllevel des Transformators
- Funktionsbereitschaft der Kondensatorpakete für die Notabschaltung
- Erdschlusskennung für den Generator
- Differenzstromüberwachung für alle elektrischen Antriebe, um schwergängige bzw. überlastete Antriebe zu erkennen, u.a. Antriebe der Blattverstellung und die Windnachführung
- Fehlerstromerkennung für die Versorgungsleitungen Licht und Steckdose
- Funktion der Fernüberwachung
- Temperaturüberwachung Lüfter und Heizregister

Jedes der drei Rotorblätter der WEA ist mit einem im Fehlerfall energieautarken Blattverstellungssystem ausgestattet. In diesem Blattverstellungssystem ist eine Sicherheitssteuerung integriert, die die Rotorblätter bei einer Notfahrt gesteuert in Fahnenstellung fahren und beim Erreichen der Fahnenstellung die Energie von den Antriebsmotoren sicher abschaltet.

Bei einer Notbremsung des Rotors wird zusätzlich eine elektromechanische Rotorbremse eingesetzt.

#### **4.3.2 Rauchschalter**

Zur Detektion von Bränden werden zudem Rauchschalter eingesetzt, die bei Rauch, Verschmutzung, Störung und zu hoher Temperatur reagieren.

Bei den Rauchschaltern handelt es sich um Brandmelder mit optischer Rauchererkennung und zusätzlichem Temperaturfühler, der ab einer Umgebungstemperatur von 70°C anspricht. Es wird ein Signal an die Anlagensteuerung gesendet und die Gondellüfter werden ausgeschaltet.

Bei der Detektion von Feuer oder Rauch schaltet die Leistungselektronik ab, die Blätter drehen aus dem Wind, hierdurch wird die Rotationsbewegung auf ein Minimum reduziert bis hin zum Stillstand. Diese Statusmeldung wird mittels

ENERCON SCADA an die ENERCON Service-Zentrale gesendet.

In der Gondel der E-160 EP5 E3 wird die Temperatur an mehreren Stellen gemessen.

Bei der E-Gondel sind drei Rauchschalter vorhanden, a) im Maschinenhaus, b) im Transformatorraum und c) am Maschinenträger. Der Rauchschalter am Maschinenträger ist im unteren Bereich der Gondel verbaut und dient der Erkennung von Rauch im Turm.

Im unteren Turmbereich befindet sich ein Rauchschalter in der Nähe der Mittelspannungsschaltanlage.

#### **4.4 Lüftungsanlagen**

Aus brandschutztechnischer Sicht werden keine Anforderungen an die Lüftung gestellt.

Der Generator ist luftgekühlt, mit einer passiven äußeren Luftkühlung durch den Luftstrom und einer aktiven inneren Luftspaltkühlung.

#### **4.5 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen**

Es werden aus brandschutztechnischer Sicht keine Rauchabzüge benötigt. Eine Entrauchung ist durch permanente Öffnungen in der Gondel und der Thermik im Turm vorhanden.

#### **4.6 Blitzschutz**

Bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen gemäß DIN EN 62305 zu versehen. Es ist ein integrierter Blitzschutz von der Rotorblattspitze bis ins Fundament vorhanden und notwendig. Die Blitzschutzanlage wird nach der DIN EN 61400-24 Blitzschutz (Blitzschutzklasse I) für Windenergieanlagen ausgeführt.

## **5 Organisatorischer Brandschutz**

### **5.1 Betriebliche Maßnahmen zur Brandverhütung und Brandbekämpfung sowie zur Rettung von Personen**

Die WEA wird regelmäßig spätestens nach 12 Monaten gewartet und überwacht. Das Verhalten im Brandfall und die Selbsthilfemaßnahmen werden entsprechend einer Gefährdungsbeurteilung regelmäßig geschult und geübt. Während der Wartung wird die Anlage außer Betrieb genommen, damit ist das Gefahrenrisiko verringert. Das Servicepersonal trägt bei den Wartungsarbeiten und einem eventuell notwendigen Probelauf der WEA seine persönliche Schutzausrüstung, somit ist ein Abseilen aus der Windenluke mit dem Abseilgerät sofort möglich.

### **5.2 Kennzeichnung von Rettungswegen**

Zur Beleuchtung der Wege während der Wartung ist eine Sicherheitsbeleuchtung gemäß ASR A3.4/3 erforderlich und wird installiert. Diese kann über batteriegepufferte Einzelleuchten realisiert werden.

Die Sicherheitsbeleuchtung der Windenergieanlage entspricht der DIN EN 50308 – Windenergieanlage-Schutzmaßnahmen-Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung - DIN EN1838 – Angewandte Lichttechnik-Notbeleuchtung-, und die DIN EN 50172 –Sicherheitsbeleuchtungsanlagen.

### **5.3 Flucht- und Rettungspläne**

Im Turmfuß und in der Gondel der Windenergieanlage sind jeweils ein Notrufplan und ein Flucht- und Rettungsplan angebracht. Alle notwendigen Informationen, z. B. die Koordinaten der Windenergieanlage und wichtige Rufnummern, sind auf dem Notrufplan zu finden.

### **5.4 Alarmierung der Feuerwehr**

Durch die zuvor beschriebene Anlagentechnik wird die WEA bei einer Detektion von Feuer oder Rauch automatisch abgeschaltet. Dabei wird eine Nachricht an eine vom Betreiber zu bestimmende Service-Zentrale gesendet. Diese benachrichtigt daraufhin die Leitstelle der Feuerwehr.

Gleichzeitig wird das Servicepersonal informiert, um umgehend die Windenergieanlage anzufahren und die Lage zu erkunden.

## **5.5 Einrichtungen zur Brandbekämpfung**

Zur Bekämpfung von Entstehungsbränden während der Wartung sind in der Gondel zwei 5kg CO<sub>2</sub>-Löscher und im Turm auf der Ebene 1 ein 2kg CO<sub>2</sub>-Löscher vorgehalten.

Im Fahrzeug der Servicekräfte wird ein weiterer CO<sub>2</sub>-Löscher mitgeführt. Diese ist für die Bekämpfung von allenfalls kleinsten Entstehungsbränden ausreichend. Selbstrettung geht vor Brandbekämpfung.

Die Feuerlöscher sind mindestens alle zwei Jahre durch einen Sachkundigen zu prüfen. Ein Vermerk über die letzte Prüfung ist fest oder plombiert am Feuerlöscher anzubringen.

## **5.6 Prüfungen technischer Anlagen und Einrichtungen**

Die Prüfungen von technischen Anlagen oder Einrichtungen werden durch Fachpersonal in Abständen von max. 12 Monaten durchgeführt.

## **5.7 Übung mit der Zuständigen Feuerwehr**

Vor Inbetriebnahme ist der örtlichen Feuerwehr und in Abstimmung mit der Brandschutzdienststelle, die Gelegenheit zu geben, sich mit dem Bauwerk vertraut zu machen.

## **6 Abwehrender Brandschutz**

### **6.1 Flächen für die Feuerwehr**

Die Anfahrt zur WEA erfolgt über die öffentliche Straße. Die Anfahrt bis an den Turmfuß geschieht über die befestigte Zuwegung. Die ausreichend befestigte und tragfähige Kranaufstellfläche während der Bauzeit bleibt nach Fertigstellung bestehen und kann durch die Feuerwehr genutzt werden.

Die Zufahrts- und Bewegungsflächen müssen, hinsichtlich ihrer Radien und Belastbarkeit, der Muster-Richtlinie „Flächen für die Feuerwehr“ entsprechen sowie frei und instandgehalten werden.

### **6.2 Löschwasserversorgung**

Aufgrund der besonderen Konstruktionsart der Windenergieanlagen der Firma ENERCON besteht keine erhöhte Brandlast oder Brandgefährdung. Im Falle eines Brandes werden eine größere Anzahl von Menschen, Tiere oder erhebliche Sachwerte nicht gefährdet.

Deshalb ist eine örtliche Löschwasserbereitstellung (Hydranten, Löschwasserbehälter usw.) nicht notwendig. Zur Erfüllung des abwehrenden Brandschutzes haben die Gemeinden die notwendige Löschwasserversorgung bereitzustellen und zu unterhalten. Bei einem Brand in der Gondel ist zunächst die Sicherung der Umgebung notwendig, und Löschwasser wird erst benötigt, wenn brennende Teile herabstürzen. Bei einem Brand im Turmfuß muss zunächst die Abschaltung der Anlage bestätigt werden, bis Löschwasser benötigt wird.

Ein Brand des Isolieröls sollte mit Mittelschaum gelöscht werden. Dafür wird das Auffangbecken mit einer Schicht Schaum bedeckt. Die erforderlichen Schaummittel stehen bei der Ausrüstung der Feuerwehr zur Verfügung.

### **6.3 Löschwasserrückhaltung**

Es ist ein Transformator verbaut, der mit max. 2060 Liter synthetischer, dielektrischer Flüssigkeit auf Esterbasis, dem Dielektrikum, gefüllt ist. Die Esterflüssigkeit ist ungiftig, leicht biologisch abbaubar und als allgemein wassergefährdend eingestuft. Esterflüssigkeiten zeichnen sich durch einen hohen Flammpunkt  $> 250$  °C aus. Die Flüssigkeit kann vollständig in einer dafür vorgesehenen Wanne, welche sich unterhalb des Transformators befindet, aufgefangen werden.

Zur Kühlung der Leistungsschränke in der Gondel wird als Kühlmittel 270 Liter Ethandio-Glykol-Gemisch (Glystantin G30 Ready Mix) eingesetzt. Die Kühlflüssigkeit ist nicht toxisch und gut biologisch abbaubar und in der Wassergefährdungsklasse 1 eingestuft.

Es werden in der WEA keine weiteren Stoffe gelagert. Eine Löschwasser-Rückhaltung ist bei diesen geringen Mengen nicht notwendig.

#### **6.4 Feuerwehrpläne**

Der einzige Zugang und die Aufstellfläche der WEA sind eindeutig. Der Turm ist für die Feuerwehr nicht zugänglich und der Turmfuß ist übersichtlich, damit sind keine Feuerwehrpläne notwendig.

#### **6.5 Hydrantenpläne**

Hydrantenpläne sind nicht notwendig.

#### **6.6 Brandbekämpfung**

Die Verhütung von Brandgefahren (vorbeugender Brandschutz) und die Brandbekämpfung (abwehrender Brandschutz) sind laut §2 BHKG Aufgaben der Gemeinden und Landkreise sowie des Landes.

Die Brandbekämpfung der WEA muss mit Hilfe der örtlichen Feuerwehr durchgeführt werden.

Es müssen folgende Brandszenarien unterschieden werden:

##### **6.6.1 Brand im Turmfuß**

Die Windenergieanlage gilt als abgeschlossene elektrische Betriebsstätte, die von der Feuerwehr nicht allein oder nur nach Freigabe begangen werden darf. Die gesamte Anlage muss spannungsfrei gemeldet werden. Die ständig besetzte Service-Zentrale informiert die Leitstelle der Feuerwehr. Bis zur Freigabe der Spannungsfreiheit der Transformatoren muss die Feuerwehr in einem angemessenen Abstand in Bereitstellung verbleiben.

Ein Brand im Turmfuß ist örtlich begrenzt. Der Brand kann sich weder auf die Gondel ausbreiten noch auf die Umgebung der Windenergieanlage auswirken.

### **6.6.2 Brand in der Gondel**

Ein Brand in der Gondel ist von der Feuerwehr nicht beherrschbar und stellt auch aufgrund der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit somit das gesellschaftlich akzeptierte Risiko dar. Ein Feuer in der Gondel kann zu einem Ausbrennen der Gondel einschließlich der Gondelhülle und zu einem Übergreifen auf die Rotorblätter führen. Der Brand führt zum Abfallen der Teile. Bei einem Brand in der Gondel ist die Feuerwehr zunächst zum Schützen der Umgebung präsent.

### **6.6.3 Brand der Rotorblätter**

Ein Brand der Rotorblätter ist nicht beherrschbar. Da die Windenergieanlage bei Schäden sofort abgeschaltet ist, werden keine brennenden Teile durch weiter anhaltende Rotation umhergeschleudert. Ein Rotorblatt wiegt ca. 25 t. Es wird direkt herabfallen und dort weiterbrennen, eine Brandweiterleitung auf die Gondel ist nicht auszuschließen. Ein Brand der Rotorblätter führt in der Hauptsache zu brennend direkt herabfallenden mehr oder weniger großen Teilen. Bei einem Brand der Rotorblätter ist die Feuerwehr zunächst zum Schützen der Umgebung präsent.

### **6.6.4 Brandweiterleitung auf die Umgebung**

Die Alarmierung der Feuerwehr ist bei einem Schadenseintritt an der WEA wahrscheinlich früher als bei einem Sekundärbrand. Bei einem der o.g. Brände ist zunächst die Sicherung der Umgebung notwendig. Bei herabfallenden brennenden Teilen wird die Einsatzleitung geeignete Maßnahmen zur Brandbekämpfung nach Erkundung einleiten.

Da die Feuerwehr bereits vor Ort ist, können Entstehungsbrände sofort gelöscht werden. Eine Brandweiterleitung auf die Umgebung wird somit verhindert.

## **7 Verwendete Rechenverfahren nach Methoden des Brandschutzingenieurwesens**

Es wurden keine Rechenverfahren des Brandschutzingenieurwesens verwendet.

## **8 Abweichungen**

Es sind keine brandschutztechnischen Abweichungen zu berücksichtigen.



## 9 Zusammenfassung

Die Unterzeichnerin wurde beauftragt, für die Errichtung einer Windenergieanlage (WEA) des Typs ENERCON E-160 EP5 E3 mit 166 m Nabenhöhe, ein Brandschutzkonzept gemäß Musterbauordnung (MBO) zu erstellen.

Bei Beachtung der dargestellten Maßnahmen, Anforderungen und Hinweise sowie der allgemein anerkannten Regeln der Technik bestehen aus brandschutztechnischer Sicht

### **keine Bedenken**

für die Errichtung und Windenergieanlage Typ ENERCON E-160 EP5 E3.

**Vorstehende Stellungnahme wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Zugrundelegung der anerkannten Regeln der Technik ohne Ansehen der Person des Auftraggebers angefertigt.**

Aufgestellt

Sandkrug, den 16.07.2021

  
Dipl.-Ing. Monika Tegtmeier  
ö.b.u.v. Sachverständige für den  
vorbeugenden baulichen Brandschutz  
Prüferin für den Brandschutz (EBA)  
Brandamtfrau a.D.

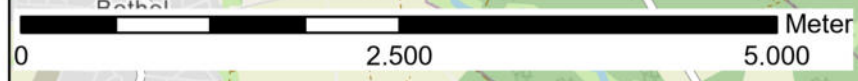
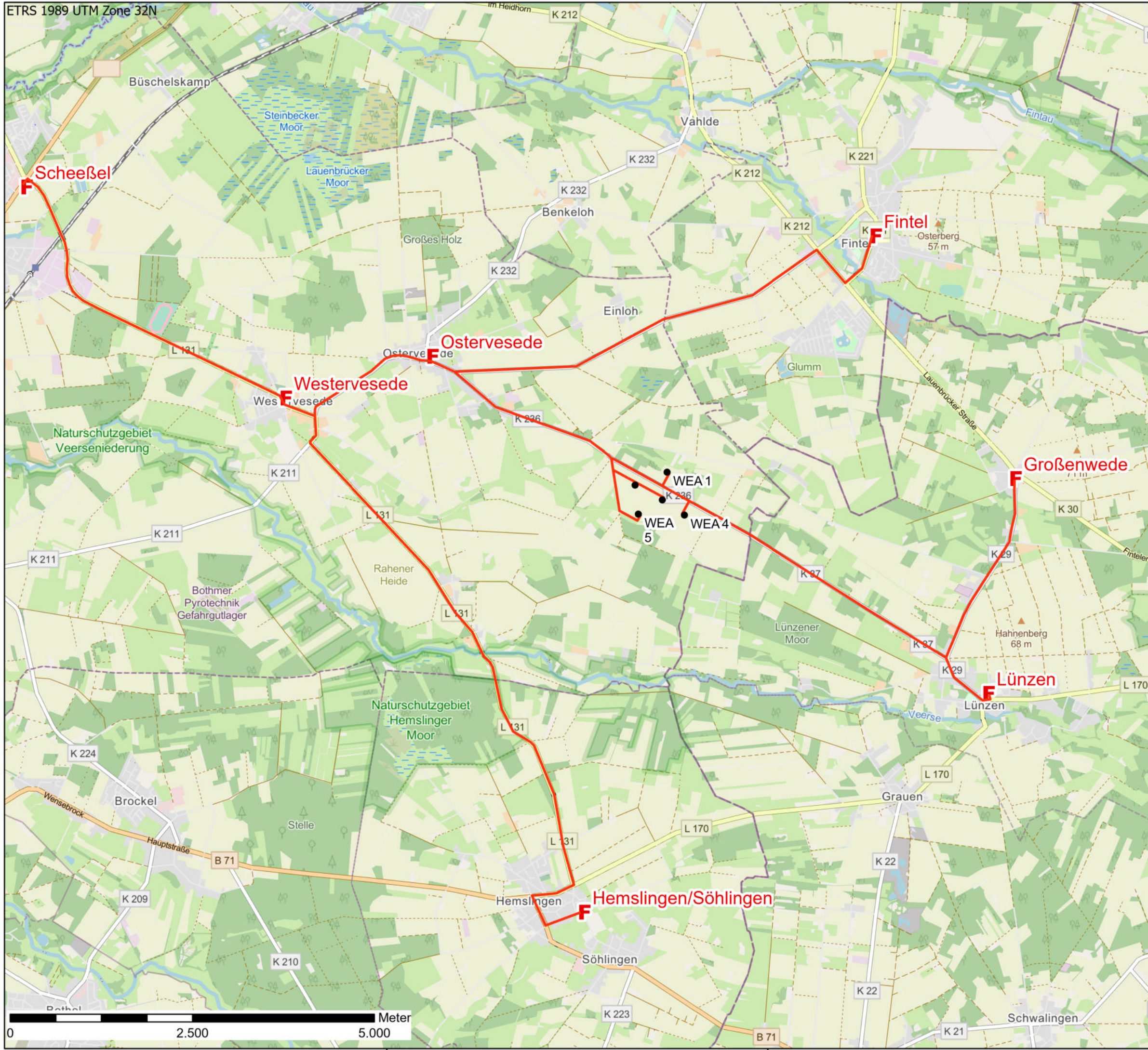






# Legende

- 5 beantragte WEA
- ▨ Fundament
- befestigte Hauptzufahrten
- F** Feuerwehrstationen



## naturwind GmbH

Schelfstraße 35 19055 Schwerin  
 Tel.: 0385 / 77 88 37 0 Fax.: 0385 / 77 88 37 29

### Genehmigungsantrag nach BImSchG

**"Neubau von 5 WEA Enercon E-160 EP5 E3 mit 119,83 m und 166,60 m NH in Ostervesede"**

Titel: Feuerwehranfahrt mit Aufstellungsanordnung	
Proj.-Nr. 65003	gezeichnet von: A. Buhl
Anl.-Nr. 12-06-04d	kontrolliert von:
Datum: 12.04.2022	Maßstab: 1:50.000

© naturwind GmbH 2022

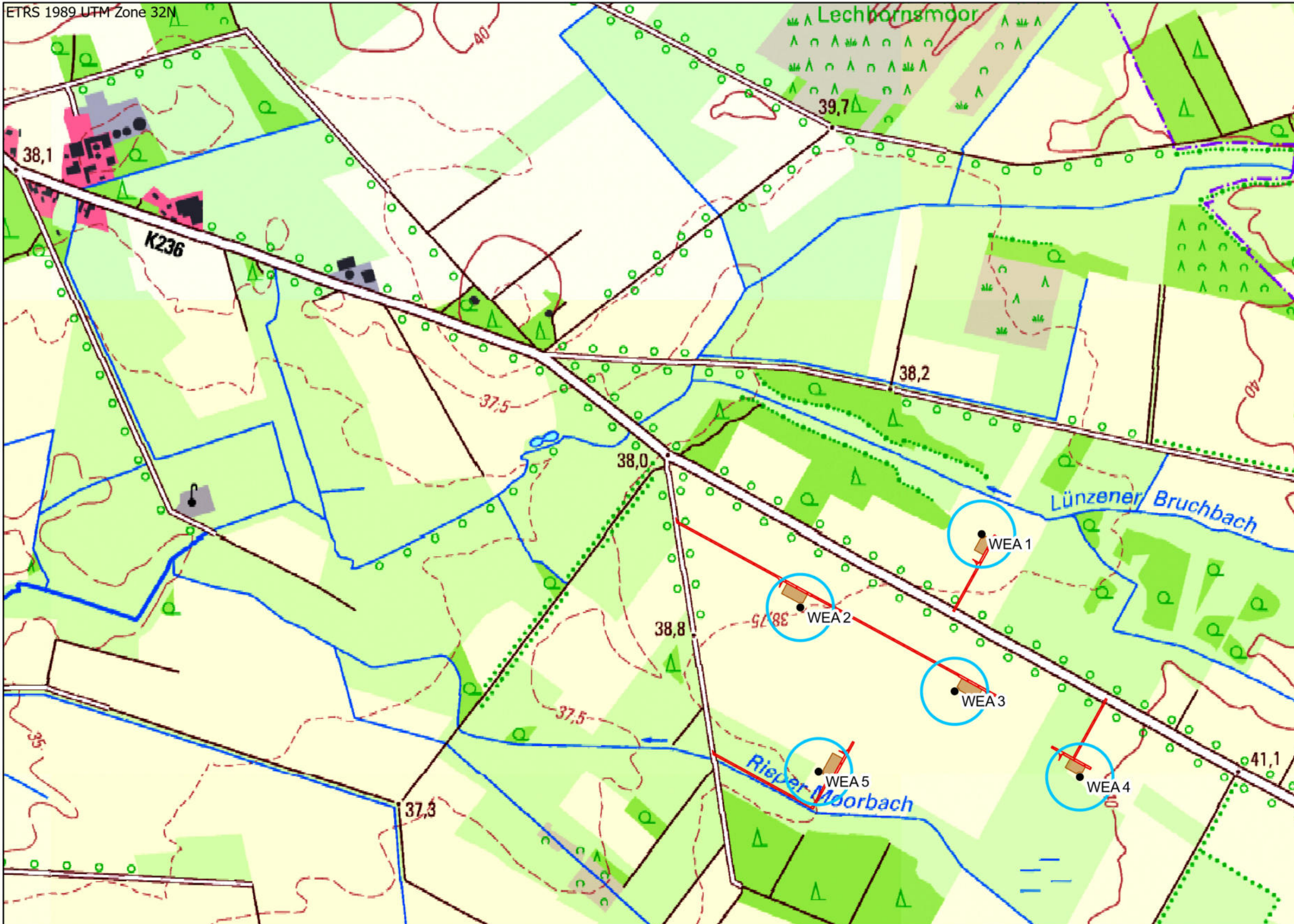
Kartenquellen: © TK 25 (LGLN, Dezember 2016)  
 Map data © OpenStreetMap contributors, Microsoft, Esri Community Maps contributors, Map layer by Esri



# Legende

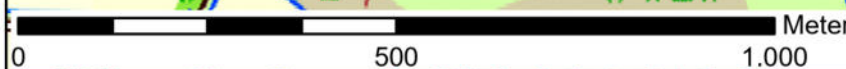


- 5 beantragte WEA
- Rotorrecht
- ▨ befestigte Hauptzufahrten
- Kranstellfläche



02-04b-Koordinatenübersicht der WEA

WEA-Nr	Anlagentyp	Nabenhöhe [m]	Rotordurchmesser [m]	Anlagengesamthöhe [m]	WGS		ETRS Zone 32		Gauß Krüger Zone 3		Geländehöhe [m] (Quelle: Vermesser)	Gesamthöhe über NN [m]
					Länge	Breite	Rechtswert	Hochwert	Rechtswert	Hochwert		
1	Enercon E160 EP5 E3 - 5,56MW	119,83	160,00	199,83	09° 37' 34,3	53° 08' 23,9	32541888	5888025	3541976	5889941	37,53	237,36
2	Enercon E160 EP5 E3 - 5,56MW	166,60	160,00	246,60	09° 37' 10,6	53° 08' 18,3	32541449	5887847	3541537	5889763	38,48	285,08
3	Enercon E160 EP5 E3 - 5,56MW	166,60	160,00	246,60	09° 37' 30,6	53° 08' 11,6	32541822	5887644	3541910	5889560	39,50	286,10
4	Enercon E160 EP5 E3 - 5,56MW	119,83	160,00	199,83	09° 37' 46,8	53° 08' 04,8	32542125	5887436	3542213	5889352	39,55	239,38
5	Enercon E160 EP5 E3 - 5,56MW	166,60	160,00	246,60	09° 37' 12,8	53° 08' 05,4	32541493	5887449	3541581	5889365	38,98	285,58



## naturwind GmbH

Schelfstraße 35 19055 Schwerin  
Tel.: 0385 / 77 88 37 0 Fax.: 0385 / 77 88 37 29

### Genehmigungsantrag nach BImSchG

"Neubau von 5 WEA Enercon E-160 EP5 E3 mit 119,83 m und 166,60 m NH in Ostervesede"

Titel: Lageplan für Anfahrt im Brandfall  
 Proj.-Nr. 65003 gezeichnet von: A. Buhl  
 Anl.-Nr. 12-06-04e kontrolliert von:  
 Datum: 12.04.2022 Maßstab: 1:10.000

© naturwind GmbH 2022

Kartenquellen: © TK 25 (LGLN, Dezember 2016)

# Technische Beschreibung

## Anlagensicherheit

### ENERCON Windenergieanlage EP5



**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

#### **Dokumentinformation**

<b>Dokument-ID</b>	D0765718-1
<b>Vermerk</b>	Originaldokument

<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2019-05-29	de	DA	WRDMS GmbH / Technische Redaktion

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Sicherheitseinrichtungen.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Sensorensystem .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Sicheres Anhalten der Windenergieanlage.....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Fernüberwachung.....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Wartung .....</b>	<b>10</b>

## 1 Einleitung

ENERCON Windenergieanlagen der aktuellen Produktpalette verfügen über eine Vielzahl von sicherheitstechnischen Einrichtungen, die dazu dienen, die Windenergieanlagen dauerhaft in einem sicheren Betriebsbereich zu halten.

Organisatorische Maßnahmen, wie regelmäßige, protokollierte Wartungsarbeiten, tragen ebenfalls zu einem zuverlässigen, sicheren Betrieb der Windenergieanlagen bei.

Zu den sicherheitstechnischen Einrichtungen zählt neben Komponenten, die ein sicheres Anhalten der Windenergieanlagen gewährleisten, ein komplexes Sensorsystem. Das Sensorsystem erfasst ständig alle relevanten Betriebszustände und stellt die entsprechenden Informationen über das Fernüberwachungssystem „SCADA System“ bereit.

Bewegen sich sicherheitsrelevante Betriebsparameter außerhalb eines zulässigen Bereichs, werden die Windenergieanlagen mit reduzierter Leistung weiterbetrieben oder angehalten.

Im Folgenden werden die wesentlichen sicherheitstechnischen Einrichtungen der ENERCON Windenergieanlagen sowie organisatorische Maßnahmen zur Erhöhung der Anlagensicherheit näher beschrieben.

## 2 Sicherheitseinrichtungen

### Hauptschalter

Am Steuerschrank der ENERCON Windenergieanlage befindet sich ein Hauptschalter, mit dem nahezu alle Komponenten der Anlage spannungsfrei geschaltet werden können.

Weitere Hauptschalter befinden sich an den Gondelsteuerschränken. Diese Hauptschalter schalten die meisten Komponenten in der Gondel spannungsfrei. Jeder Gondelsteuerschrank hat einen eigenen Hauptschalter.

Die Hauptschalter beeinflussen nicht den Mittelspannungsbereich, die angeschlossenen Stromschienen und die mit diesen direkt verbundenen Schaltschrankeingänge. Für den Mittelspannungsbereich gibt es einen eigenen Mittelspannungsraum. Die mit der Niederspannungsverteilung verbundenen Schaltschrankeingänge werden ebenfalls nicht von den Hauptschaltern beeinflusst.

### Not-Halt-Taster

ENERCON Windenergieanlagen verfügen über mehrere Not-Halt-Taster. Bei Betätigung eines Not-Halt-Tasters werden die Rotorblätter verstellt und der Rotor der Windenergieanlage wird in einen sicheren Drehzahlbereich gebracht.

Die Not-Halt-Taster schalten die Windenergieanlage nur teilweise spannungsfrei. Einige sicherheitsrelevante Baugruppen der Windenergieanlage werden auch nach Betätigung eines Not-Halt-Tasters weiterhin mit Spannung versorgt.



### 3 Sensorensystem

Eine Vielzahl von Sensoren erfasst laufend den aktuellen Zustand der Windenergieanlage und die relevanten Umgebungsparameter. Die Anlagensteuerung wertet die Signale aus und steuert die Windenergieanlage stets so, dass die aktuell verfügbare Windenergie optimal ausgenutzt wird und dabei die Sicherheit des Betriebs gewährleistet ist.

#### **Redundante Sensoren**

Um eine Plausibilitätsprüfung durch Vergleich der gemeldeten Werte zu ermöglichen, sind für einige Betriebszustände (z. B. für die Messung der Temperatur im Generator) mehr Sensoren eingebaut als eigentlich notwendig wären. Ein defekter Sensor wird zuverlässig erkannt und kann durch die Aktivierung eines Reservesensors ersetzt werden. Die Windenergieanlage kann dadurch in der Regel ohne den Austausch größerer Komponenten sicher weiter betrieben werden.

#### **Kontrolle der Sensoren**

Die Funktionstüchtigkeit aller Sensoren wird im laufenden Betrieb durch die Anlagensteuerung selbst kontrolliert. Wo dies nicht möglich ist, geschieht die Kontrolle durch die Anlagenwartung

#### **Drehzahlüberwachung**

Die Anlagensteuerung der ENERCON Windenergieanlage regelt durch Verstellung des Blattwinkels die Rotordrehzahl so, dass die Nenndrehzahl auch bei sehr starkem Wind nicht nennenswert überschritten wird. Auf plötzlich eintretende Ereignisse, z. B. eine starke Windböe oder eine schlagartige Verringerung der Generatorlast, kann die Blattverstellung jedoch unter Umständen nicht schnell genug reagieren. Wenn die Nenndrehzahl um mehr als ca. 20 % überschritten wird, hält die Anlagensteuerung den Rotor an. Ein Neustart der Anlagensteuerung kann per Fernzugriff erfolgen.

Zusätzlich zur elektronischen Überwachung ist eine elektromechanische Dreifach-Drehzahlüberwachung Teil jeder Blattverstelleinheit. Diese kann die Windenergieanlage per Notverstellung anhalten. Die Dreifach-Drehzahlüberwachung löst aus, wenn die Nenndrehzahl des Rotors um mehr als 22 % überschritten wird. Ein Neustart der Anlagensteuerung kann per Fernzugriff erfolgen.

#### **Luftspaltüberwachung**

Die Breite des Luftspalts zwischen Rotor und Stator des Ringgenerators wird mithilfe von Sensoren überwacht. Löst einer der Sensoren wegen Unterschreitung des Mindestabstands aus, wird die Windenergieanlage angehalten. Ist die Breite des Luftspalts wieder ausreichend, kann ein Neustart der Windenergieanlage erfolgen. Dazu muss der Fehler an der Anlage zunächst quitiert werden. Die Windenergieanlage ist danach wieder betriebsbereit und kann neu gestartet werden.

#### **Schwingungsüberwachung**

Die Schwingungsüberwachung erkennt zu starke Vibrationen und Schwingungen bzw. Auslenkungen der Turmspitze der Windenergieanlage.

Sensoren erfassen die Beschleunigungen der Gondel in Richtung der Nabenachse (Längsschwingung) und quer dazu (Querschwingung). Die Anlagensteuerung berechnet daraus laufend die Auslenkung des Turms gegenüber der Ruheposition.

Überschreiten Schwingungen bzw. Auslenkungen das zulässige Maß, hält die Windenergieanlage an. Nach kurzer Zeit erfolgt ein automatischer Neustart.

Werden unzulässige Vibrationen erkannt oder treten unzulässige Turmschwingungen mehrfach auf, hält die Windenergieanlage an und unternimmt keinen erneuten Startversuch.

### **Temperaturüberwachung**

Einige Komponenten der ENERCON Windenergieanlage werden gekühlt. Zudem messen Temperatursensoren kontinuierlich die Temperatur an Anlagenkomponenten, die vor hohen Temperaturen geschützt werden müssen.

Bei zu hohen Temperaturen wird die Leistung der Windenergieanlage reduziert, gegebenenfalls wird sie angehalten. Die Anlage kühlt ab und läuft automatisch wieder an, sobald eine vorgegebene Grenztemperatur unterschritten wird.

Einige Messpunkte sind zusätzlich mit Übertemperaturschaltern ausgerüstet. Diese veranlassen ebenfalls ein Anhalten der Windenergieanlage, in bestimmten Fällen ohne automatischen Wiederanlauf nach Abkühlung, wenn die Temperatur einen bestimmten Grenzwert überschreitet.

Einige Baugruppen, z. B. die Windsensoren und die Schaltschränke, werden bei zu niedrigen Temperaturen gewärmt, um sie betriebsbereit zu halten.

### **Überwachung der Kabelverdrillung**

Sollte sich die Gondel der Windenergieanlage bis zu 2-mal um die eigene Achse gedreht und die im Turm hinabgeführten Kabel verdrillt haben, erfolgt eine automatische Entdrillung. Die Steuerung der Windenergieanlage nutzt hierzu die nächste Gelegenheit.

Die Überwachung der Kabelverdrillung verfügt über eine Sensorik, die bei einer Überschreitung des zulässigen Stellbereichs die Stromversorgung der Azimutmotoren unterbricht.

## 4 Sicheres Anhalten der Windenergieanlage

### Anhalten durch Rotorblattverstellung

Die ENERCON Windenergieanlage kann durch manuellen Eingriff oder automatisch durch die Anlagensteuerung angehalten werden.

Jedes Rotorblatt ist dazu mit einer Blattverstelleinheit ausgestattet. Die Blattverstelleinheit besteht aus einer Steuerung, einer Antriebseinheit und einem Energiespeicher.

Durch die Blattverstelleinheit wird die Stellung der Rotorblätter zum Wind gesteuert. Bei einer nicht sicherheitsrelevanten Störung werden die Rotorblätter über die Steuerung der Windenergieanlage aus dem Wind gedreht, worauf der Rotor der Windenergieanlage anhält.

### Notverstellung

Der Energiespeicher der Blattverstelleinheit speichert die für eine Notverstellung nötige Energie. Während des Anlagenbetriebs wird die Ladung gehalten und laufend getestet. Bei einer Notverstellung werden die Antriebseinheiten vom zugehörigen Energiespeicher mit Energie versorgt. Die Rotorblätter fahren ungesteuert und voneinander unabhängig in eine Stellung, in der sie keinen Auftrieb erzeugen (Fahnenstellung).

Da die 3 Blattverstelleinheiten sich sowohl gegenseitig kontrollieren als auch unabhängig voneinander funktionieren, können beim Ausfall einer Komponente die verbliebenen Blattverstelleinheiten weiterhin arbeiten und den Rotor anhalten.

## 5 Fernüberwachung

Alle ENERCON Windenergieanlagen sind über das „SCADA System“ mit der regionalen Serviceniederlassung verbunden. Diese kann jederzeit die Betriebsdaten von jeder Windenergieanlage abrufen und sofort auf Auffälligkeiten und Störungen reagieren.

Alle Statusmeldungen werden in einem elektronischen Logbuch erfasst, von dem ein Back-up erstellt wird. Der Service wird per E-Mail über die Datenerfassung sowie über aufkommende Störungen und Ereignisse informiert. Die Daten werden dauerhaft gespeichert. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Erfahrungen aus dem praktischen Langzeitbetrieb in die Weiterentwicklung der Windenergieanlagen einfließen können.

Die Anbindung der einzelnen Windenergieanlagen läuft über einen speziell dafür vorgesehenen Zentralserver. Dieser Server steht bei der Lagerwey Wind B.V. in Barneveld (NL).

Das „SCADA System“, seine Eigenschaften und seine Bedienung sind in separaten Dokumenten beschrieben.

Auf Wunsch des Betreibers kann die Überwachung der Windenergieanlagen von einer anderen Stelle übernommen werden.

## 6 **Wartung**

Um den dauerhaft sicheren und optimalen Betrieb der Windenergieanlagen sicherzustellen, müssen diese in regelmäßigen Abständen gewartet werden.

ENERCON Windenergieanlagen werden regelmäßig gewartet, je nach Anforderung mindestens einmal jährlich. Dabei werden alle sicherheitsrelevanten Komponenten und Funktionen geprüft, z. B. Blattverstellung, Windnachführung, Sicherheitssysteme, Blitzschutzsystem, Anschlagpunkte und Sicherheitssteigleiter. Die Schraubverbindungen an den tragenden Verbindungen (Hauptstrang) werden geprüft.

Alle weiteren Komponenten werden einer Sichtprüfung unterzogen, bei der Auffälligkeiten und Schäden festgestellt werden. Verbrauchte Schmierstoffe werden nachgefüllt.

# Technische Beschreibung

## Blitzschutz

### ENERCON Windenergieanlagen

Technische Änderungen vorbehalten.

**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Jost Backhaus, Momme Janssen, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

#### Dokumentinformation

<b>Dokument-ID</b>	D0260891-12
<b>Vermerk</b>	Originaldokument

<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2020-11-26	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

Technische Änderungen vorbehalten.

### Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

Dokument-ID	Dokument
DIN EN 50308*VDE 0127-100	Windenergieanlagen - Schutzmaßnahmen - Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung; Deutsche Fassung EN 50308
DIN EN 50522*VDE 0101-2	Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV; Deutsche Fassung EN 50522
DIN EN 61400-24*VDE 0127-24	Windenergieanlagen - Teil 24: Blitzschutz (IEC 61400-24); Deutsche Fassung EN 61400-24
DIN EN 62305-1*VDE 0185-305-1	Blitzschutz - Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 62305-1); Deutsche Fassung EN 62305-1
DIN EN 62305-2*VDE 0185-305-2	Blitzschutz - Teil 2: Risiko-Management (IEC 62305-2); Deutsche Fassung EN 62305-2
DIN EN 62305-3*VDE 0185-305-3	Blitzschutz - Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen (IEC 62305-3); Deutsche Fassung EN 62305-3
DIN EN 62305-4*VDE 0185-305-4	Blitzschutz - Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen (IEC 62305-4); Deutsche Fassung EN 62305-4
DIN EN 62561-1*VDE 0185-561-1	Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile (IEC 62561-1); Deutsche Fassung EN 62561-1
DIN EN 62561-2*VDE 0185-561-2	Blitzschutzsystembauteile (LPSC) - Teil 2: Anforderungen an Leiter und Erder (IEC 62561-2); Deutsche Fassung EN 62561-2
DIN IEC 60364-5-54*VDE 0100-540	Errichtung von Niederspannungsanlagen Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter (IEC 64/2370); Deutsche Fassung EN 60364-5-54



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Äußerer Blitzschutz</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Fangeinrichtungen</b> .....	<b>8</b>
2.1.1	Maschinenhaus .....	8
2.1.2	Rotorblatt .....	8
<b>2.2</b>	<b>Ableitungen</b> .....	<b>9</b>
2.2.1	Blattanschluss – Rotor .....	9
2.2.2	Rotor – Maschinenträger .....	9
2.2.3	Maschinenträger – Turm .....	9
2.2.4	Turm .....	9
2.2.5	Turm – Fundament .....	10
<b>2.3</b>	<b>Erdungsanlage</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Innerer Blitzschutz</b> .....	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Übersicht der Blitzschutzkomponenten der Windenergieanlagen</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Zugrundeliegende Normen</b> .....	<b>16</b>

## Abkürzungsverzeichnis

<b>EMV</b>	Elektromagnetische Verträglichkeit
<b>GFK</b>	Glasfaserverstärkter Kunststoff
<b>LPL</b>	Lightning protection level (Blitzschutzklasse)
<b>LPZ</b>	Lightning protection zone (Blitzschutzzone)

## 1 Allgemeines

Blitzschläge können Teile von Gebäuden in Brand setzen und zerstören. Zudem können die hohen Blitzströme direkt durch leitende Verbindungen oder indirekt durch induktive, kapazitive oder galvanische Kopplung ins Gebäudeinnere übertragen werden und dort zu weiteren Beschädigungen führen. Windenergieanlagen sind aufgrund ihrer exponierten Lage besonders gefährdet.

Um mögliche Schäden durch Blitzschläge zu vermeiden und einen sicheren Anlagenbetrieb zu gewährleisten, werden Windenergieanlagen mit einem Blitzschutz ausgestattet. Ein Blitzstrom wird dabei kontrolliert von den Fangeinrichtungen über die Ableitungen zur Erdungsanlage geführt.

### Äußerer Blitzschutz

Zum äußeren Blitzschutz gehören alle Maßnahmen, die zur Verhinderung von Beschädigungen der Windenergieanlagen durch Blitzschläge getroffen werden. Fangeinrichtungen an den Rotorblättern, Ableitungen, die Erdungsanlage und anlagenspezifische Metallteile sind Bestandteile des äußeren Blitzschutzes. Der äußere Blitzschutz reduziert zudem die durch Blitzströme erzeugten Störfelder im Inneren der Windenergieanlagen.

### Innerer Blitzschutz

Zum Schutz der elektrischen und elektronischen Einrichtungen werden weitere Maßnahmen ergriffen, die als innerer Blitzschutz bezeichnet werden. Hierzu zählen ein Potentialausgleichssystem sowie Überspannungsableiter.

### Blitzschutzklasse – Lightning protection level

Das LPL wird von IV (niedrig) bis I (hoch) eingestuft. Alle Windenergieanlagen sind dafür ausgelegt, die Anforderungen an das LPL I zu erfüllen, ggf. sind Anpassungen an der Erdungsanlage erforderlich. Dies ist von der Leitfähigkeit des Erdreichs am Standort abhängig und wird als Teil der Baugrunduntersuchung projektspezifisch geprüft.

Blitzschutzzonen

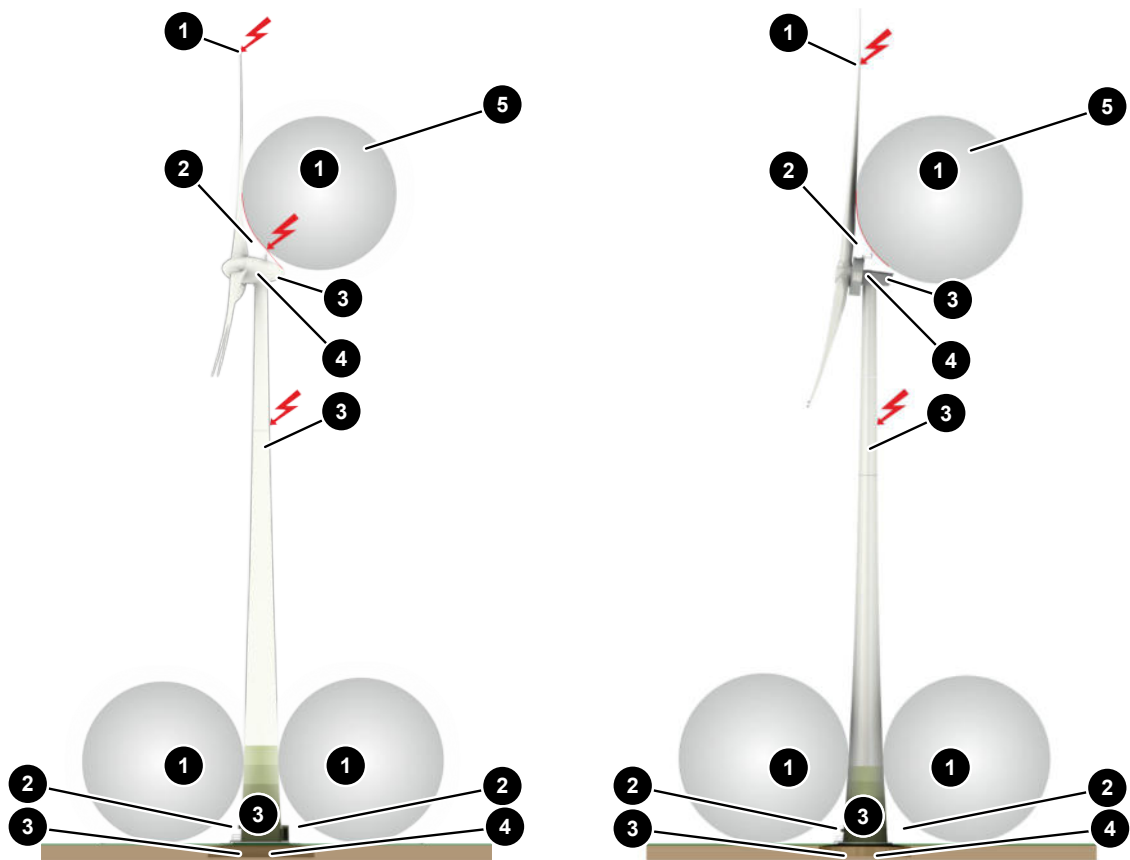


Abb. 1: Blitzschutzzonen, Gondel in Tropfenform (links) und Gondel in Kompaktform/E-Gondel (rechts), Beispiel

1 LPZ 0 <sub>A</sub>	2 LPZ 0 <sub>B</sub>
3 LPZ 1	4 LPZ 2
5 Blitzkugel (Radius 20 m)	

## 2 Äußerer Blitzschutz

### 2.1 Fangeinrichtungen

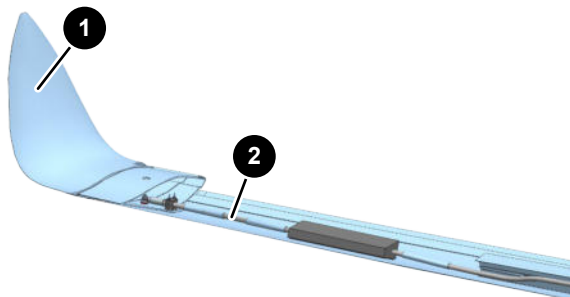
#### 2.1.1 Maschinenhaus

Am Maschinenhaus befinden sich, in Abhängigkeit von der Größe des Maschinenhauses, mehrere Fangstangen aus Rundstahl. Die Fangstangen fangen den Blitz. Die Positionierung findet entsprechend des Blitzkugelverfahrens mit dem Radius der Blitzschutzklasse I statt. Hierdurch werden die restliche Struktur sowie die Komponenten im Außenbereich (z. B. Anemometer) vor unkontrollierten Blitzschlägen geschützt. Je nach Überspannungs- und EMV-Konzept der Windenergieanlage ist das Maschinenhaus mit einem innenliegenden faradayschen Käfig ausgestattet.

#### 2.1.2 Rotorblatt

In den Rotorblättern ist ein Blitzschutz integriert, der den Blitzstrom von der Einschlagstelle an den Fangeinrichtungen über den Ableitpfad zur Erdungsanlage führt. Der Blitzschutz besteht, je nach Rotorblatt, aus den folgenden Elementen:

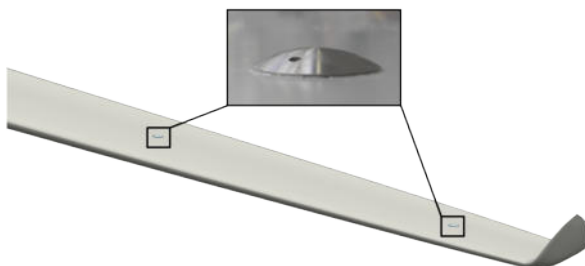
- Blattspitze aus Aluminiumguss oder Rezeptoren im Bereich der Blattspitze
- Blitzableiter (Kupfer oder Aluminium)
- ggf. zusätzliche Rezeptoren
- ggf. Ableitring an der Blattwurzel



**Abb. 2: Blattspitze mit Blitzableiter**

1 Blattspitze	2 Blitzableiter
---------------	-----------------

Je nach Aufbau des Rotorblatts besteht die Blattspitze aus Aluminiumguss oder es sind Rezeptoren in der Blattspitze verbaut. Die Fangeinrichtungen sind durch einen Blitzableiter mit dem Blattflansch verbunden.



**Abb. 3: Rotorblatt mit Rezeptoren auf der Druck- und Saugseite, Beispiel**

Je nach Länge und Aufbau des Rotorblatts sind ggf. zusätzlich Rezeptoren auf der Druck- und Saugseite angeordnet. Die Rezeptoren sind an den Ableitpfad angeschlossen.

Rezeptoren sind definierte Solleinschlagsstellen, welche blitzstromtragfähig dimensioniert sind.

## 2.2 Ableitungen

### 2.2.1 Blattanschluss – Rotor

Die Ableitung des Blitzstroms vom Blattanschluss zum Rotor wird mit Rollenblitzableitern oder Schleifkontakten realisiert. Die im Rotor installierten Rollenblitzableiter oder Schleifkontakte werden durch eine Federwirkung auf einen am Blattanschluss angebrachten Ableitring gedrückt.

Rollenblitzableiter werden bei Windenergieanlagen mit Spinnerverkleidung verbaut. Bei Windenergieanlagen ohne Spinnerverkleidung werden Schleifkontakte eingesetzt.

Bei Rotorblättern ohne Ableitring wird der Blitzstrom über den im Rotorblatt installierten Blitzableiter direkt auf den Blattflansch geführt.

### 2.2.2 Rotor – Maschinenträger

Bei allen Windenergieanlagen führen symmetrisch angeordnete Funkenstrecken den Blitzstrom unabhängig von dem momentanen Rotorblattwinkel und der Stellung des Rotors zur tragenden Struktur.

Bei Maschinenhausverkleidungen aus Aluminium führen die Funkenstrecken den Blitzstrom vom Spinner auf die Verkleidung. Von dort aus wird der Blitzstrom in den Maschinenträger abgeleitet.

Bei Verkleidungen aus GFK führen die Funkenstrecken den Blitzstrom auf den Stator und dann zum Maschinenträger.

### 2.2.3 Maschinenträger – Turm

Die Verbindung zwischen Maschinenträger und Turm wird durch das großflächige Azimutlager sichergestellt. Je nach Windenergieanlage sind zusätzlich Schleifkontakte installiert.

### 2.2.4 Turm

#### Stahlurm

Der Stahlurm selbst ist leitfähig, so dass ein Blitzstrom über diesen abgeleitet wird. 2 am Turm angeschweißte Laschen dienen dem Anschließen der Anschlussfahnen des Fundamenterders. Wenn das unterste Segment aus mehreren Teilen besteht, werden diese jeweils mit einem zusätzlichen, inneren Erdungsring verbunden, an welchem die 2 Anschlussfahnen des Fundamenterders angeschlossen werden.

#### Hybridurm

Der Hybridurm besteht aus Betonsegmenten, die im oberen Turmbereich um Stahlsegmente ergänzt werden. Die Ableitung wird durch die Verbindungsfaschen des Fundaments aufwärts bis zu den Stahlurmsegmenten realisiert. Der Übergang zu den Stahlurmsegmenten erfolgt mit 4 Leitungen, jeweils um 90° versetzt, mit mind. 50 mm<sup>2</sup> Querschnitt.

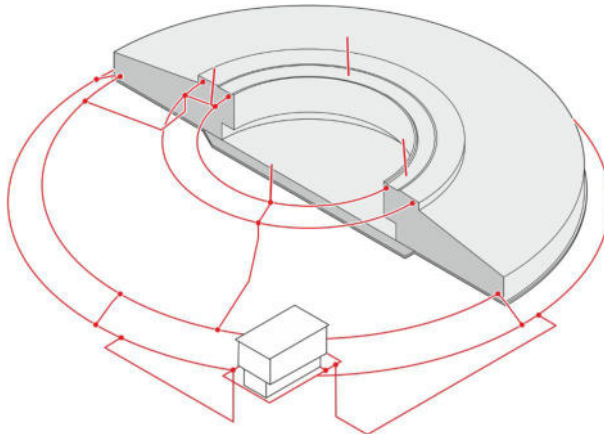
Jedes Betonsegment verfügt über 4 vertikal geführte Bandstähle, welche mit der inneren Bewehrung verbunden sind. Die Enden des Bandstahls sind mit Gewindehülsen versehen, an welchem die Verbindungslaschen angebunden werden und den Spalt zwischen den Segmenten überbrücken. Abschließend dienen 4 Gewindehülsen, jeweils um 90° versetzt, als Erdungsfestpunkte zum Anschluss des Fundamenterders.

### **2.2.5 Turm – Fundament**

Der Anschluss des Turms an das Fundament erfolgt über Laschen und Anschlussfahnen. Die an den Turm angeschweißten Laschen werden mit den Anschlussfahnen der Erdungsanlage verbunden. Die Erdungsanlage ist mit der Bewehrung des Fundaments verbunden. Somit wird eine großflächige Potentialsteuerung erreicht.

Je nach Turm wird die Erdungsanlage um einen im untersten Bereich des Turms liegenden Erdungsring erweitert. Der Erdungsring dient der Anbindung der elektrischen Einbauten innerhalb des Turms an die Erdungsanlage.

## 2.3 Erdungsanlage



**Abb. 4: Erdungsanlage, Beispiel**

Erdungsanlagen schützen Lebewesen und Sachwerte vor Gefahren, die durch Kurz- bzw. Erdschlüsse und transiente Vorgänge, wie Blitzschläge und Schalldruckwellen, entstehen können. Sie stellen eine effektive Wirkung der (Fehlerstrom-)Schutzeinrichtungen und eine Bereitstellung eines Referenzpotenzials für elektrische Komponenten sicher. Bei einem Blitzschlag entsteht im stromdurchflossenen Bodenbereich ein Potentialanstieg in Richtung Windenergieanlage. Die Höhe der Berührung- und Schrittspannung ist u. a. abhängig vom Erdungswiderstand des Fundamenterders und der äußeren Erdungsanlage.

Um alle Anforderungen an das LPL I zu erfüllen und die Einhaltung von Schritt- und Berührungsspannungen im Fehlerfall sicherstellen zu können, müssen in Abhängigkeit des spezifischen Erdwiderstands am Standort ggf. erdungsverbessernde Maßnahmen realisiert werden. Der spezifische Erdwiderstand muss gemäß normativer Anforderung im Rahmen der Baugrunduntersuchung messtechnisch erfasst werden.

Die Erdungsanlage im Fundament besteht aus mehreren, radial installierten Erdungsleitern. Um eine gezielte Potentialsteuerung zu erzielen, sind die Erdungsleiter gestaffelt mit der Bewehrung verbunden. Der außerhalb des Fundaments liegende Ring der integrierten Erdungsanlage der Windenergieanlage in das umgebende Potential.

Nach Errichtung der Erdungsanlage wird abschließend der erreichte Erdungswiderstand gemessen und mit den ermittelten Grenzwerten verglichen. Bei Nichteinhaltung können erdungsverbessernde Maßnahmen wie z. B. zusätzliche Tiefenerder oder Ersatzmaßnahmen wie z. B. eine Standortisolierung erforderlich sein, um die Sicherheit für Lebewesen im Umfeld der Windenergieanlage sicherzustellen.

Je nach vereinbartem Lieferumfang werden die erforderlichen Maßnahmen vom Kunden oder von ENERCON durchgeführt. Die Regelung ist vertraglich festzuhalten.



### 3 Innerer Blitzschutz

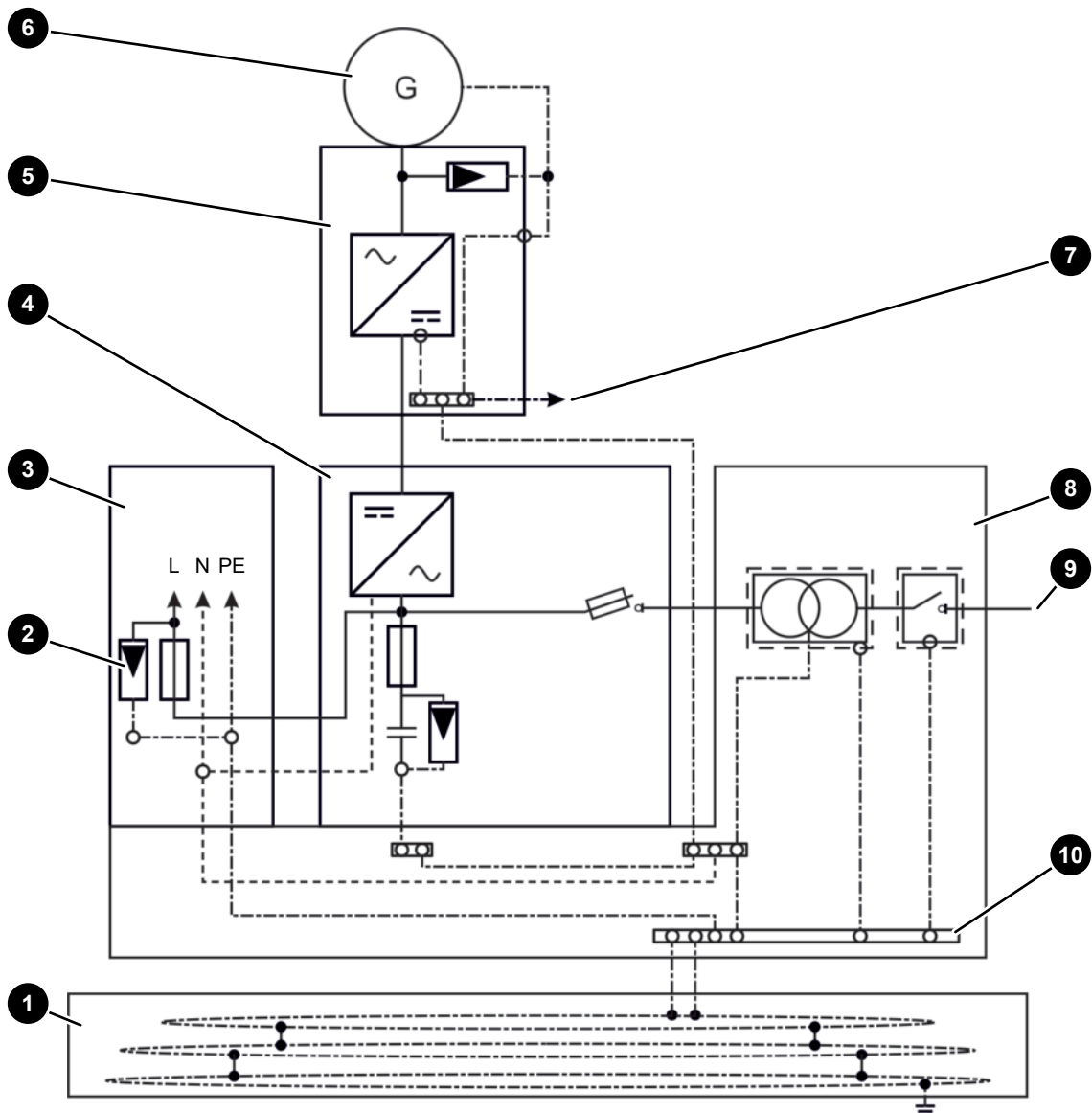


Abb. 5: Schematischer Aufbau des Potentialausgleichssystems und der Überspannungsableiter

1	Erdungsanlage	2	Überspannungsableiter
3	Steuerschrank	4	Leistungsschrank
5	Maschinenträger	6	Generator
7	Schleifringübertrager	8	Transformator
9	Mittelspannungsschaltanlage	10	Potentialausgleichsschiene

#### Potentialausgleichssystem

Das Potentialausgleichssystem verbindet alle leitfähigen Hauptkomponenten wie z. B. die Rotornabe, die Gondel, den Turm und die Schaltschränke mit dem Hauptpotentialausgleich. Der Zusammenschluss des Niederspannungs- und Hochspannungspotentialausgleichs verhindert Potentialdifferenzen.

### **Überspannungsableiter**

Überspannungsableiter schützen elektrische Komponenten nicht nur vor durch Blitzschlag hervorgerufene elektromagnetische Impulse, sondern auch vor anderen transienten Störgrößen, welche durch Schalthandlungen von induktiven oder kapazitiven Lasten entstehen. Des Weiteren schützen die Überspannungsableiter vor den Folgen von elektrostatischen Entladungseffekten.

Damit wird sichergestellt, dass jederzeit eine Überwachung, Regelung und Steuerung der Windenergieanlage möglich ist.

## 4 Übersicht der Blitzschutzkomponenten der Windenergieanlagen

Tab. 1: Übersicht der Blitzschutzkomponenten der Windenergieanlagen

	Maschinenhaus	Blattanschluss-Rotor			Maschinenträger - Turm
	faradayscher Käfig	Rollenblitzabnehmer	Schleifkontakte	direkter Anschluss	zusätzliche Schleifkontakte
E-44	-	X	-	-	-
E-48	-	X	-	-	-
E-53	-	X	-	-	-
E-70 E4	-	X	-	-	-
E-82 E2	-	X	-	-	-
E-82 E4	-	X	-	-	-
E-92	-	X	-	-	-
E-103 EP2	-	X	-	-	-
E-115 E2	-	X	-	-	-
E-115 EP3 E3	-	-	X	-	-
E-115 EP3 E4	-	-	X	-	-
E-126 EP3	-	X	-	-	-
E-138 EP3	-	X	-	-	-
E-138 EP3 E2	-	-	X	-	-
E-138 EP3 E3	-	-	X	-	-
E-136 EP5	X	-	-	X	X
E-147 EP5	X	-	-	X	X
E-147 EP5 E2	-	-	-	X	-
E-160 EP5	-	-	-	X	-
E-160 EP5 E2	-	-	-	X	-

	Maschinenhaus	Blattanschluss-Rotor			Maschinenträger - Turm
	faradayscher Käfig	Rollenblitzabnehmer	Schleifkontakte	direkter Anschluss	zusätzliche Schleifkontakte
<b>E-160 EP5 E3</b>	-	-	-	X	-

## 5 Zugrundeliegende Normen

Bei der Konstruktion und der Umsetzung des Blitzschutzes für Windenergieanlagen wurden folgende Normen und Standardisierungen in der jeweils aktuellsten Fassung beachtet.

- DIN EN 50308\*VDE 0127-100
- DIN EN 50522\*VDE 0101-2
- DIN EN 61400-24\*VDE 0127-24
- DIN EN 62305-1\*VDE 0185-305-1
- DIN EN 62305-2\*VDE 0185-305-2
- DIN EN 62305-3\*VDE 0185-305-3
- DIN EN 62305-4\*VDE 0185-305-4
- DIN EN 62561-1\*VDE 0185-561-1
- DIN EN 62561-2\*VDE 0185-561-2
- DIN IEC 60364-5-54\*VDE 0100-540

# Technische Beschreibung

Wölfel-Eisansatzerkennung

ENERCON Windenergieanlagen

**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

**Dokumentinformation**

<b>Dokument-ID</b>	D0734076/2.1-de		
<b>Vermerk</b>	Originaldokument		
<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2021-07-23	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

**Mitgeltende Dokumente**

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in Klammern. Die Titel von übergeordneten Normen und Richtlinien werden im Sprachoriginal oder in der englischen Übersetzung angegeben. Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments. Diese Liste enthält ggf. Dokumente zu optionalen Komponenten.

<b>Dokument-ID</b>	<b>Dokument</b>
D0160588	Technische Beschreibung Gondelpositionierung bei Eisansatz
D0258603	Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung
D0441885	Technische Beschreibung Blattheizung



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Integration in das Betriebsführungssystem .....</b>	<b>8</b>
3.1	Sicherheitsrelevante Signale des externen Eisansatzerkennungssystems .....	9
3.2	Sicherheitsrelevante Signale der Anlagensteuerung .....	9
3.3	Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung .....	9
3.4	Überwachung der Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems .....	10
<b>4</b>	<b>Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung .....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Anhalten der Windenergieanlage .....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Wiederanlaufen der Windenergieanlage .....</b>	<b>14</b>
6.1	Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage .....	14
6.2	Manueller Wiederanlauf .....	14
6.3	Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter .....	15
6.4	Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung .....	16
6.5	Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung .....	18
6.6	Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung .....	19
<b>7</b>	<b>ENERCON SCADA System .....</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>Parameter .....</b>	<b>22</b>
	<b>Fachwortverzeichnis .....</b>	<b>25</b>

## 1 Einleitung

An den Rotorblättern kommt es bei bestimmten Witterungsverhältnissen zur Bildung von Eis-, Reif- oder Schneeablagerungen, die den Wirkungsgrad der Windenergieanlage reduzieren und die Lärmemission erhöhen. Durch diese Ablagerungen entsteht eine Unwucht, die zu erhöhter Materialbelastung führt. Die Ablagerungen können so stark werden, dass von ihnen beim Herabfallen (unvermeidbarer Eisfall, wie von hohen Gebäuden) oder Wegschleudern (Eiswurf) Gefahren für Personen und Sachen ausgehen.

Um die Gefahren von Eiswurf zu reduzieren, wird in ENERCON Windenergieanlagen serienmäßig die Eisansatzerkennung nach dem ENERCON Kennlinienverfahren eingesetzt. Wird bei laufender Windenergieanlage Eisansatz erkannt, hält die Windenergieanlage nach Ablauf der eingestellten Detektionszeit an.

Zusätzlich kann das externe Eisansatzerkennungssystem der Fa. Wölfel betrieben werden. Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem kann ab Werk oder als Nachrüstung eingesetzt werden.

Die Eisansatzerkennungssysteme beeinflussen sich nicht gegenseitig.

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem funktioniert ab einer Windgeschwindigkeit von 2 – 3 m/s (unterhalb der Einschaltwindgeschwindigkeit) unabhängig vom Betrieb der Windenergieanlage, auch bei Stillstand der Windenergieanlage.

Dieses Dokument gibt eine Übersicht über das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem und dessen Einfluss auf die Start- und Haltevorgänge der Windenergieanlage.

Dieses Dokument ist gültig für ENERCON Windenergieanlagen mit folgenden Steuerungstypen:

- CS48, CS82, CS101, CS126, EP3-CS-02, EP4-CS-01

## 2 Aufbau

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem erkennt Eisdicken an Rotorblättern von Windenergieanlagen durch eine Frequenzanalyse der Rotorblattschwingungen mittels piezoelektrischen zweidimensionalen Beschleunigungssensoren.

Das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem besteht aus mindestens 3 Structural-Noise-Sensoren und einer Basisstation, welche eine Datenerfassungseinheit und eine Datenverarbeitungseinheit beinhaltet.

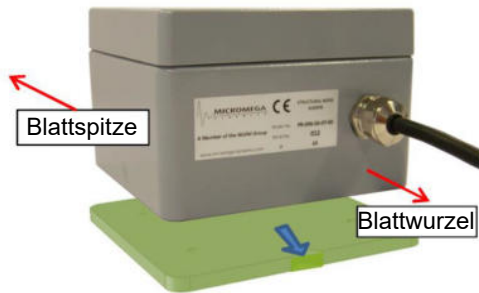


Abb. 1: Montageplatte und Structural-Noise-Sensor



Abb. 2: Basisstation

Die Structural-Noise-Sensoren erfassen jeweils die Schwingbeschleunigungen (Abb. 3, S. 6) und die Temperatur direkt im Rotorblatt. Es wird jeweils 1 Sensor innerhalb jedes Rotorblatts auf einer Montageplatte installiert (Standardkonfiguration). Die Sensoren sind gegen Überspannungen geschützt und haben ein extrem geringes Eigenrauschen und eine hohe Signalauflösung.

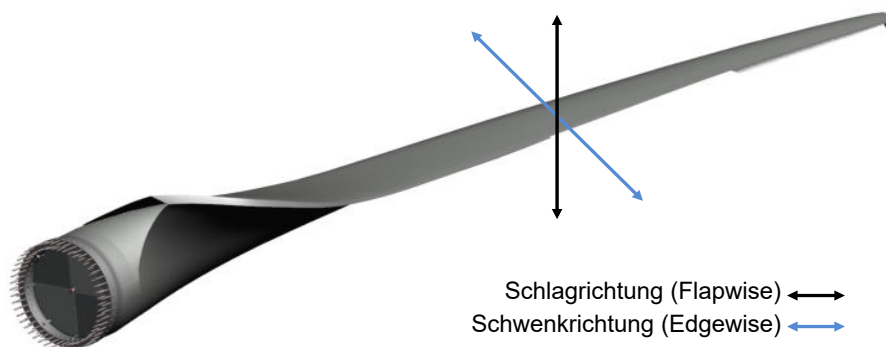


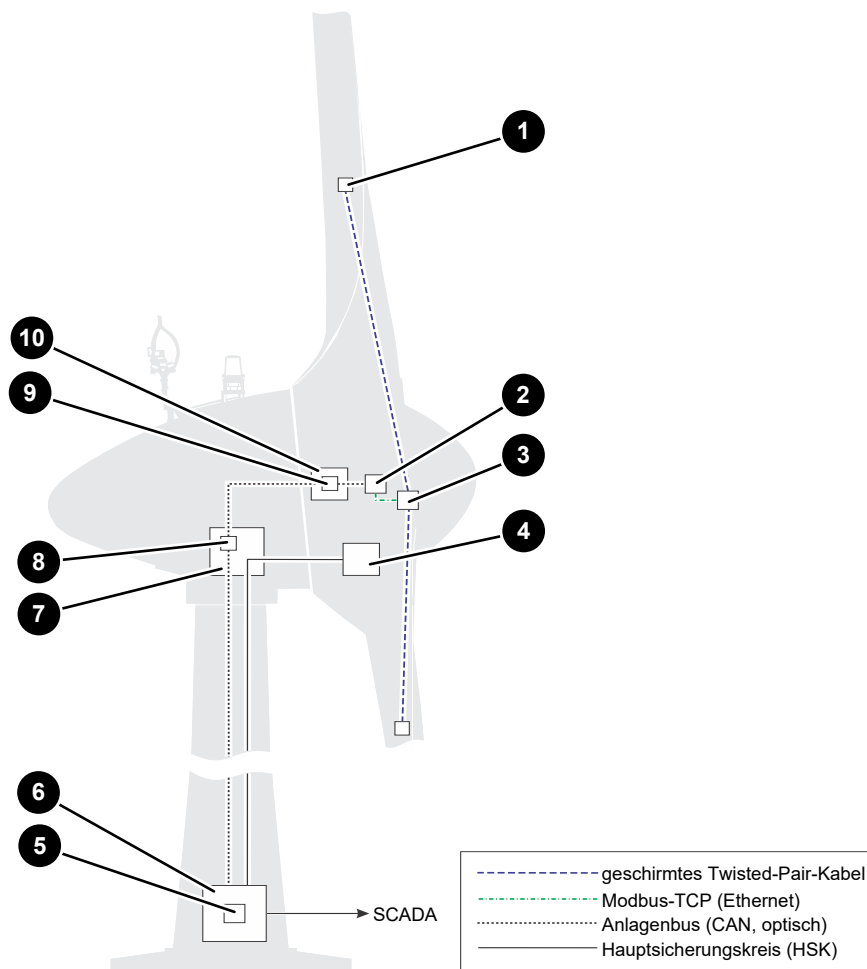
Abb. 3: Erfasste Schwingbeschleunigungen durch Structural-Noise-Sensoren

Die Datenerfassungseinheit bereitet die Sensorsignale zur Weiterverarbeitung in der Datenverarbeitungseinheit auf. Die Datenerfassung erfolgt kontinuierlich, um jederzeit Aussagen zum aktuellen Rotorblattzustand bereitstellen zu können.

In der Datenverarbeitungseinheit werden die Messdaten vollautomatisiert verarbeitet und die Zustandsindikatoren zur Eisdetektion berechnet.

Die Datenerfassungseinheit und die Datenverarbeitungseinheit befinden sich in der Basisstation, welche im Rotorkopf der Windenergieanlage installiert ist.

### 3 Integration in das Betriebsführungssystem



**Abb. 4: Baugruppenübersicht für die Einbindung des Eisansatzerkennungssystems in das Betriebsführungssystem**

1	Wölfel-Structural-Noise-Sensor	2	ENERCON Ice Detection Interface
3	Wölfel-Basisstation	4	Blattverstellsystem, Notverstellsystem
5	I/O-Board Steuerschrank 1	6	Steuerschrank
7	Gondelsteuerschrank	8	Optoverteiler Gondel
9	Optoverteiler Rotor	10	Rotorunterverteilung

Das externe Eisansatzerkennungssystem ist über eine Modbus-TCP-Schnittstelle (Ethernet) mit dem ENERCON Ice Detection Interface verbunden und somit in die Anlagensteuerung eingebunden.

Die Übertragung der sicherheitsrelevanten Signale erfolgt mithilfe eines Black-Channels. Die Auslegung des Black-Channels erfolgt nach DIN EN 61784-3.

### 3.1 Sicherheitsrelevante Signale des externen Eisansatzerkennungssystems

Das externe Eisansatzerkennungssystem stellt der Anlagensteuerung folgende sicherheitsrelevante Signale zur Verfügung:

- kritischer Eisansatz
- Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems
- Eisfreiheit

### 3.2 Sicherheitsrelevante Signale der Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung stellt dem externen Eisansatzerkennungssystem sicherheitsrelevante Signale zur Verfügung. Dies sind unter anderem:

- Blattverstellwinkel
- Rotordrehzahl
- Außentemperatur

### 3.3 Nicht sicherheitsrelevante Funktionen der Anlagensteuerung

Die Anlagensteuerung stellt dem externen Eisansatzerkennungssystem nicht sicherheitsrelevante Funktionen zur Verfügung. Dies sind unter anderem:

- Steuerung der Blattheizung
  - Aktivierung der Blattheizung zur Erwärmung der Rotorblätter
- Steuerung der Eisansatzsimulation
  - Zur Abnahmeprüfung und im Zuge der Wartung, um die korrekte Funktionsweise der Betriebsführung bei der Eisansatzerkennung zu kontrollieren (unter nichtvereisten Bedingungen).
- Parametrierung des Eisansatzerkennungssystems
  - Die Anlagesteuerung stellt zwei Schnittstellen zur Verfügung, um das Eisansatzerkennungssystem zu parametrieren. Die Parameter des Eisansatzerkennungssystems können bei der Inbetriebnahme per CompactFlash-Karte in die Anlagensteuerung eingespielt und am Anlagendisplay abgelesen werden. Die Übertragung der Daten an das Eisansatzerkennungssystem erfolgt mit einer CRC-Prüfung (zyklische Redundanzprüfung). Die Parameter sind durch die Überwachungsmechanismen der Anlagensteuerung abgesichert und werden kontinuierlich über das ENERCON SCADA System überwacht. Der ENERCON Service führt eine automatische Parameterüberwachung durch. Bei einer Abweichung der Parameterwerte wird der ENERCON Service benachrichtigt.
- Daten- und Ereignisprotokollierung
  - Alle durch das Eisansatzerkennungssystem ausgelösten Ereignisse werden über das ENERCON SCADA System protokolliert.
- Signalisierung von Teilsystemausfällen (z. B. Ausfall eines Sensors), um eine rechtzeitige Reparatur oder Wartung zu ermöglichen.

### 3.4 Überwachung der Verfügbarkeit des Eisansatzerkennungssystems

Die Anlagensteuerung überwacht die Verfügbarkeit des externen Eisansatzerkennungssystems.

Wenn der Anlagensteuerung die sicherheitsgerichteten Signale des installierten und parametrisierten externen Eisansatzerkennungssystems nicht mehr zur Verfügung stehen oder das externe Eisansatzerkennungssystem keine Verfügbarkeit meldet, wird eine Meldung über das ENERCON SCADA System generiert und eine der folgenden Ausfallreaktionen eingeleitet:

#### Standard-Ausfallreaktion

- Der Betrieb der Windenergieanlage ist bei Verfügbarkeit eines weiteren Eisansatzerkennungssystems zulässig.

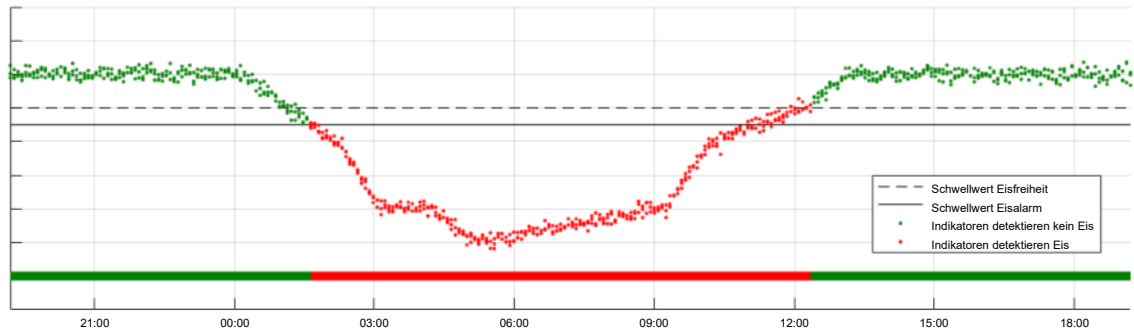
Da das ENERCON Kennlinienverfahren standardmäßig zur Verfügung steht, ist der Betrieb der Windenergieanlage somit trotz Ausfall des externen Eisansatzerkennungssystems gegeben.

#### Alternativ parametrierbare Ausfallreaktionen

- Der Betrieb der Windenergieanlage ist immer zulässig.
- Der Betrieb der Windenergieanlage ist bei Tauwetter zulässig.
- Der Betrieb der Windenergieanlage ist nie zulässig.

## 4 Kritischer Eisansatz und Eisfreiheitsmeldung

Die Datenverarbeitungseinheit wertet die Structural-Noise-Sensorsignale zusammen mit den aktuellen Betriebs- und Umgebungsdaten der Windenergieanlage aus. Die Datenverarbeitungseinheit berechnet die Zustandsindikatoren, welche auf Strukturveränderungen und Eisansatz hinweisen. Unterschreiten die Zustandsindikatoren den Schwellwert für den Eisalarm, wird eine Alarmmeldung für kritischen Eisansatz generiert. Überschreiten die Zustandsindikatoren den Schwellwert für die Eisfreiheit, wird eine Eisfreiheitsmeldung generiert.



**Abb. 5: Berechnete Zustandsindikatoren des Wölfel-Eisansatzerkennungssystems**

Die aus den Messwerten berechneten Zustandsindikatoren werden, abhängig von den herrschenden Betriebs- und Umgebungsbedingungen, i. d. R. im Abstand von ca. 5 Minuten gebildet. Die Zustandsindikatoren werden genutzt, um Aussagen über den Rotorblattzustand zu treffen. Im Normalzustand (ohne Eisansatz) sind die Zustandsindikatoren im Bereich der Nulllinie. Bei Eisansatz weichen die Zustandsindikatoren von Null ab. Je stärker die Abweichung ist, umso ausgeprägter ist der Eisansatz. Zustandsindikatoren zur Eisansatzerkennung werden in praktisch allen relevanten Betriebszuständen gebildet, so dass eine permanente Überwachung sichergestellt ist.

Standardmäßig sind 2 Schwellwerte vorgegeben, auf deren Basis automatisch eine Alarmmeldung generiert und an die Anlagensteuerung kommuniziert wird. Die Schwellwerte werden für jeden Rotorblatttyp individuell angepasst.

Da die strukturdynamischen Eigenschaften von Rotorblättern komplex und stark vom Rotorblatttyp und Windenergieanlagentyp abhängig sind und zudem die Detektion von Vereisungen nur in Bezug auf einen bekannten Anfangszustand erfolgen kann, ist eine Systemreferenzierung erforderlich.

Diese Referenzierung gliedert sich wie folgt:

### Typenreferenzierung

Da Signale, die von der Rotorblattstruktur verursacht werden, von äußeren Einflüssen separiert werden müssen (z. B. Maschinengeräusche, harmonische Anteile aus Lagerung und Getriebe) sind die Systeme bei Einsatz an einem neuen Windenergieanlagentyp zunächst einmalig individuell zu referenzieren. Diese Typenreferenzierung bildet spezifische Eigenschaften (z. B. Windenergieanlagentyp, Nennleistung, Netzfrequenz, Rotorblatttyp/-länge) ab. Für diese Typenreferenzierung werden mindestens Daten über einen Temperaturbereich von +4 °C bis +18 °C in allen Drehzahl- und Blattverstellbereichen benötigt. Erfahrungsgemäß liegen diese i. d. R., abhängig von Betriebs- und Umgebungsbedingungen, nach ca. 3 bis 6 Monaten des Betriebs an einer Windenergieanlage vor.

### Windenergieanlagenspezifische Inbetriebnahme-Referenzierung

Nach Installation und Inbetriebnahme jedes einzelnen Systems muss eine rotorblattspezifische Referenzierung erfolgen. Dabei werden u. a. fertigungsbedingt abweichende Rotorblattmassen kompensiert. Nach Einbau und Inbetriebnahme des Wölfel-Eisansatzerken-



nungssysteme müssen die wesentlichen Betriebszustände für kurze Zeit (jeweils ca. 2 Stunden) gezielt angefahren werden. Bei ausreichender Datenmenge und Datenqualität wird im System aus den Daten die windenergieanlagenspezifische Referenz gebildet. Die windenergieanlagenspezifische Inbetriebnahme-Referenzierung muss bei Temperaturen oberhalb von +4 °C erfolgen. Die windenergieanlagenspezifische Referenz kann vom System fortlaufend überprüft und ggf. optimiert werden.

## **5 Anhalten der Windenergieanlage**

Erkennt das Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz, wird die Windenergieanlage angehalten (Trudelbetrieb). Zusätzlich erfolgt eine Signalisierung an ENERCON SCADA.

Je nach Parametrierung kann die Gondel in einer bestimmte Stellung positioniert werden. Optional wird die Blattheizung oder eine Eiswarnleuchte eingeschaltet.

## 6 Wiederanlaufen der Windenergieanlage

### 6.1 Priorisierung von Anhalten und Wiederanlaufen der Windenergieanlage

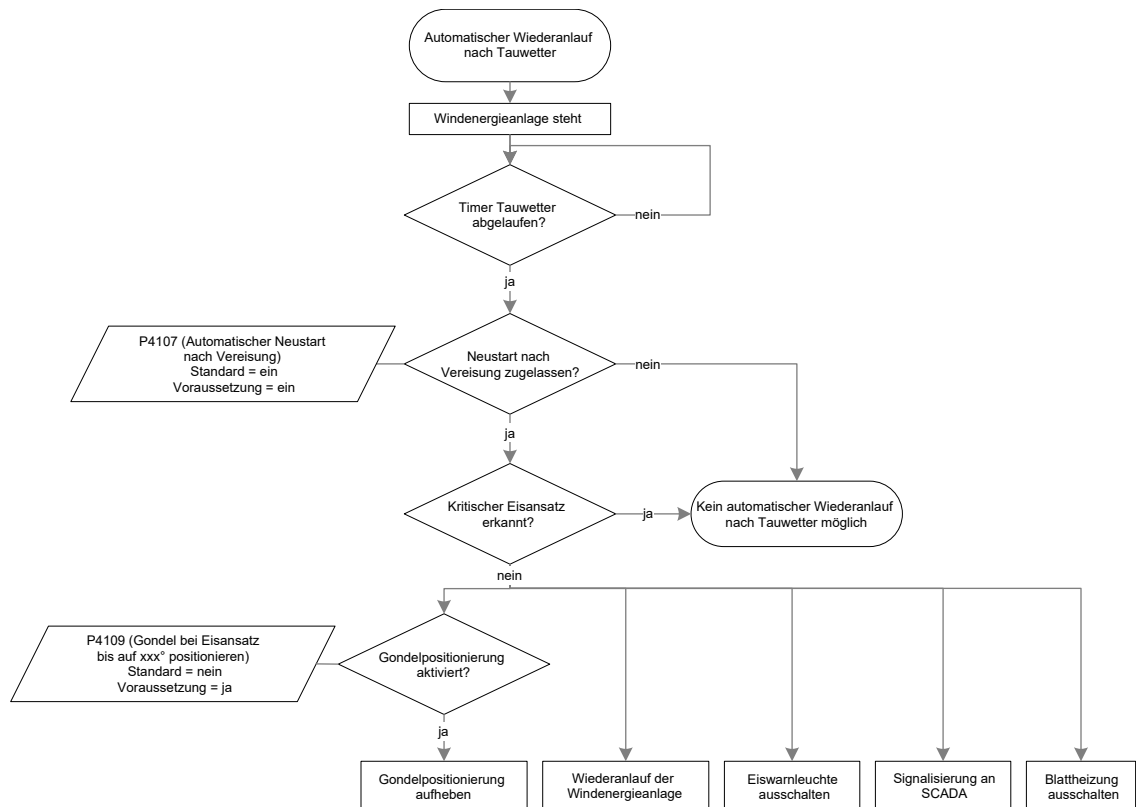
Das Anhalten der Windenergieanlage hat immer eine höhere Priorisierung als das Wiederanlaufen der Windenergieanlage. Das bedeutet, dass die Windenergieanlage nicht wiederanlaufen kann, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, obwohl ein anderes Eisansatzerkennungssystem Eisfreiheit meldet.

### 6.2 Manueller Wiederanlauf

Ein manuell eingeleiteter Wiederanlauf nach einer Eisansatzerkennung ist nur direkt an der Windenergieanlage nach entsprechender Sichtkontrolle möglich. Der Eisreset kann über den Taster am Steuerschrank oder über den ENERCON SCADA Server vor Ort ausgelöst werden. Dabei obliegt dem Personal vor Ort die Verantwortung für die eventuell vom Wiederanlauf ausgehende Gefährdung.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

### 6.3 Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter



**Abb. 6: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter**

**Standardeinstellung:**

- P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein

**Voraussetzung:**

- ✓ P4107 (Automatischer Neustart nach Vereisung) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt.

Wenn anhand der zurückliegenden Außentemperaturmessungen Tauwetterlage erkannt wird und ein automatischer Wiederanlauf bei Tauwetter parametrisiert ist, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt, ist der automatische Wiederanlauf nach Tauwetter nicht möglich.

**Tab. 1: Automatischer Wiederanlauf nach Tauwetter**

Außentemperatur in °C	Dauer in Minuten
> 2	3600
3	360
4	180
5	120
6	90
7	72
8	60

## 6.4 Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

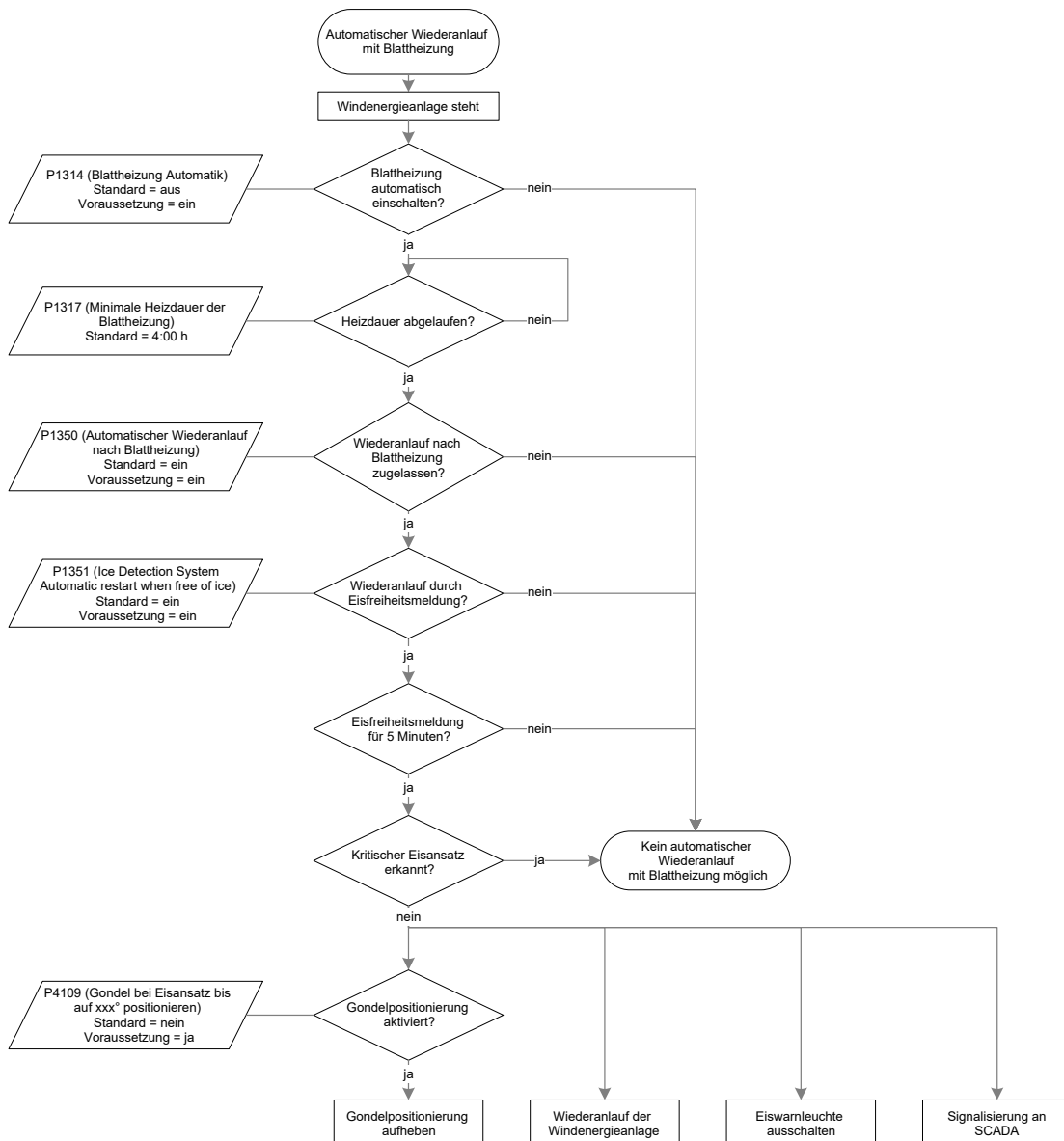


Abb. 7: Automatischer Wiederanlauf mit Blattheizung

### Standardeinstellung:

- P1314 (Blattheizung Automatik) = aus
- P1350 (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = ein
- P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein

### Voraussetzung:

- ✓ P1314 (Blattheizung Automatik) = ein
- ✓ P1350 (Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung) = ein
- ✓ P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt.

Wenn ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkannt hat und die Windenergieanlage angehalten wurde, wird die Blattheizung eingeschaltet.

Wenn das Eisansatzerkennungssystem über einen Zeitraum von 5 Minuten Eisfreiheit signalisiert, nachdem ein Blattheizungszyklus durchlaufen wurde, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Diese Funktion ist auch unter Vereisungsbedingungen möglich.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0441885 „Technische Beschreibung Blattheizung“

## 6.5 Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung



Abb. 8: Automatischer Wiederanlauf ohne Blattheizung

### Standardeinstellung:

- P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein

### Voraussetzung:

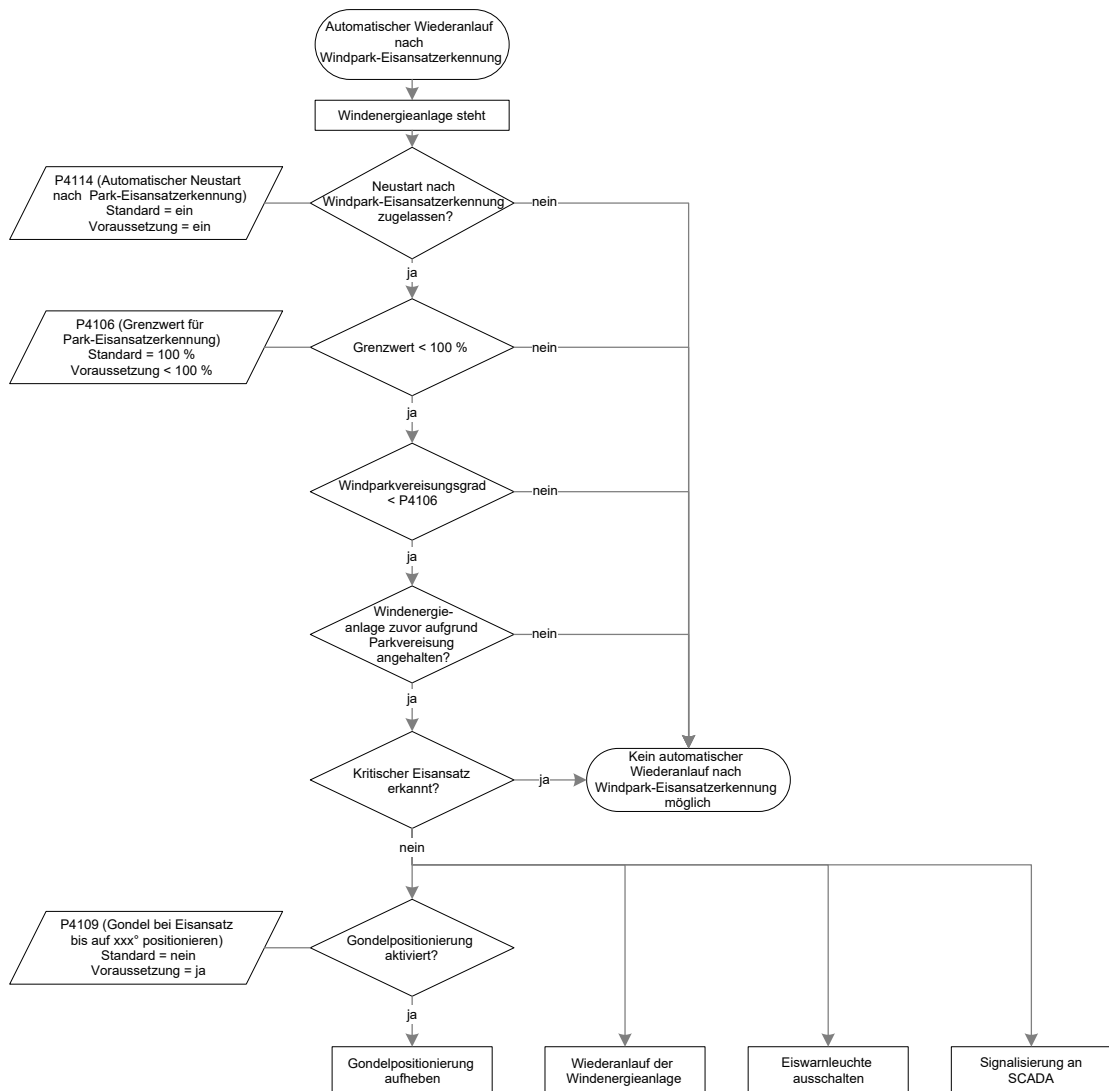
- ✓ P1351 (Automatischer Wiederanlauf bei Eisfreiheitssign. durch ext. System) = ein
- ✓ Kritischer Eisansatz oder eine Eiswarnung wurden durch das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem erkannt
- ✓ Signalisierung von Eisfreiheit für mindestens 5 Minuten
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Ohne Blattheizung ist ein automatischer Wiederanlauf der Windenergieanlage durch das Eisansatzerkennungssystem möglich, wenn das Eisansatzerkennungssystem den kritischen Eisansatz oder die Eiswarnung selbst erkannt hat.

Wenn das Eisansatzerkennungssystem über einen Zeitraum von 5 Minuten Eisfreiheit signalisiert, nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf.

Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

## 6.6 Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung



**Abb. 9: Automatischer Wiederanlauf nach Windpark-Eisansatzerkennung**

### Standardeinstellung:

- P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) = 100 %

### Voraussetzung:

- ✓ P4114 (Automatischer Neustart nach Park-Eisansatzerkennung) = ein
- ✓ P4106 (Grenzwert für Park-Eiserkennung) < 100 %
- ✓ Kein kritischer Eisansatz durch ein installiertes Eisansatzerkennungssystem erkannt

Wird an einer Windenergieanlage kein kritischer Eisansatz mehr erkannt und die entsprechende Statusmeldung zurückgesetzt, gibt die Windenergieanlage diese Meldung über ENERCON SCADA an alle Windenergieanlagen im Windpark ab. Jede Windenergieanlage löscht die entsprechende Information und berechnet erneut den Windparkvereisungsgrad. Wenn der Windparkvereisungsgrad niedriger als der an der jeweiligen Windenergieanlage eingestellte Wert ist, wird der Startvorgang eingeleitet, sofern die Windenergieanlage selbst keinen kritischen Eisansatz detektiert hat oder durch längeren Stillstand bei niedrigen Temperaturen präventiv stillstehen muss.



Die Windenergieanlage kann nicht wiederanlaufen, solange ein Eisansatzerkennungssystem kritischen Eisansatz erkennt.

Detaillierte Informationen können der technischen Beschreibung entnommen werden:

- D0258603 „Technische Beschreibung Windpark-Eisansatzerkennung“

## 7 ENERCON SCADA System

Über das ENERCON SCADA System und die PDI-OPC-Schnittstelle können verschiedene Signale vom Wölfel-Eisansatzerkennungssystem empfangen werden.

Folgende Signale werden alle 10 Minuten aufgezeichnet:

- Zustands- oder Eisindikatoren pro Rotorblatt
- Schaltschranktemperatur der Wölfel-Basisstation
- Prozessortemperatur des ENERCON Ice Detection Interface

Wenn die Wölfel-Basisstation keine Daten sendet oder ein Sensor nicht konfiguriert ist, wird der Wert 65535 aufgezeichnet.

## 8 Parameter

### 8.1 P1350: Automatischer Wiederanlauf nach Blattheizung

Gibt an, ob die Windenergieanlage nach einem Durchlauf des Blattheizungszyklus unabhängig von der eingestellten Heizdauer automatisch wieder starten darf.

Der Parameter ist ab Softwareversion V6.01 (I/O-Board Steuerschrank 1) verfügbar. Bei Softwareversionen bis einschließlich V5.90 (I/O-Board Steuerschrank 1) wird diese Funktion über P4107 abgebildet.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

### 8.2 P1351: Ice Detection System Automatic restart when free of ice

Gibt an, ob die Windenergieanlage nach einer Eisfreiheitsmeldung durch ein externes Eisansatzerkennungssystem automatisch wieder starten darf.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ein/aus	ein

### 8.3 P1352: Ice Detection System fall-back reaction

Gibt an, wie die Windenergieanlage mit einem installierten und parametrieren, jedoch nicht verfügbaren externen Eisansatzerkennungssystem betrieben werden darf.

- 0 = Der Betrieb ist bei Verfügbarkeit eines weiteren Eisansatzerkennungssystems zulässig.
- 1 = Der Betrieb ist immer zulässig.
- 2 = Der Betrieb ist bei Tauwetter zulässig.
- 3 = Der Betrieb ist nicht zulässig.

**Hinweis: Wenn P1352 = 1, erhöht sich ggf. das Eiswurfrisiko!**

Einstellmöglichkeiten	Standard
0 – 3	0

### 8.4 P1355: Ice Detection System Wölfel

Gibt an, ob ein Wölfel-Eisansatzerkennungssystem installiert ist.

Einstellmöglichkeiten	Standard
installiert/nicht installiert	nicht installiert

### 8.5 P1357: Ice Detection System only active with turbine stopped

Gibt an, ob das Eisansatzerkennungssystem nur bei angehaltener Windenergieanlage aktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
ja/nein	nein

### 8.6 P1358: Ice Detection System inactive from ...

Gibt an, ab welcher Windgeschwindigkeit das Eisansatzerkennungssystem inaktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

### 8.7 P1359: Ice Detection System inactive to ...

Gibt an, bis zu welcher Windgeschwindigkeit das Eisansatzerkennungssystem inaktiv sein soll.

Einstellmöglichkeiten	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

**Tab. 2: Auswirkung der Parameter 1357 bis 1359 auf die Funktionsweise des Eisansatzerkennungssystems**

Funktionsweise	Einstellung der Parameter
Das Eisansatzerkennungssystem ist immer aktiv (Standard).	P1357 = nein P1358 = P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist nur aktiv, wenn die Windenergieanlage angehalten ist.	P1357 = ja P1358 = P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist nur aktiv, wenn die Windgeschwindigkeit außerhalb des eingestellten Bereichs liegt.	P1357 = nein P1358 < P1359
Das Eisansatzerkennungssystem ist aktiv, wenn die Windgeschwindigkeit außerhalb des eingestellten Bereichs liegt oder wenn die Windenergieanlage angehalten ist.	P1357 = ja P1358 < P1359

**Hinweis: Eine Abweichung vom Standard schränkt den Aktivitätsbereich des Eisansatzerkennungssystems ein! Damit ist das Eisansatzerkennungssystem gemäß Zertifizierung und Stand der Technik nicht mehr vollständig funktionsfähig!**

## 8.8 P7450: Woelfel certified Ice-Thres. active

Gibt an, ob das Wölfel-Eisansatzerkennungssystem nur Parametrierungen akzeptieren darf, die der Zertifizierung entsprechen.

**Hinweis: Wenn P7450 = nicht aktiv, können für die Parameter 7451 bis 7452 von der Zertifizierung abweichende Einstellungen vorgenommen werden.**

Einstellmöglichkeiten	Standard
aktiv/nicht aktiv	aktiv

## 8.9 P7451: Woelfel Schwellwert Eis-Alarm

Gibt den Indikatorwert für den Schwellwert des Eis-Alarms an.

Die Einstellung des Parameters wird nicht berücksichtigt, wenn die Einstellung der Zertifizierung entsprechen muss (P7450 = aktiv).

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	-0,750

## 8.10 P7452: Woelfel Schwellwert Eisfreiheit

Gibt den Indikatorwert für den Schwellwert der Eisfreiheit an.

Die Einstellung des Parameters wird nicht berücksichtigt, wenn die Einstellung der Zertifizierung entsprechen muss (P7450 = aktiv).

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	-0,500

## 8.11 P7454: Woelfel Blade Heating Thres.

Gibt den Indikatorwert für den Einschaltenschwellwert der Blattheizung bei laufender Windenergieanlage an.

Einstellmöglichkeiten	Standard
-30,000 – 32,767	32,767 (deaktiviert)

## Fachwortverzeichnis

<b>Eisfall</b>	Herabfallen von Eis bei angehaltener Windenergieanlage, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern bilden kann. Die fallenden Eisstücke können Sach- und Personenschäden bewirken.
<b>Eiswurf</b>	Abwurf von Eis bei drehendem Rotor, das sich bei bestimmten Wetterlagen an den Rotorblättern von Windenergieanlagen bilden kann.
<b>Kritischer Eisansatz</b>	Entstehung von Eis, das aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für ungeschützte Personen darstellt, wenn es herabfällt oder weggeschleudert wird.
<b>Trudelbetrieb</b>	Betriebsart einer ENERCON Windenergieanlage, bei der sich die Rotorblätter in einem Rotorblattwinkel von in der Regel 60° (in der sogenannten Trudelstellung) befinden, wodurch sich die Windenergieanlage im Leerlauf befindet. Der Rotor dreht nur sehr langsam. Im Trudelbetrieb wird keine Energie erzeugt und die Rotordrehzahl wird überwacht. Bei hohen Windgeschwindigkeiten wird der Rotorblattwinkel erhöht, damit die maximale Trudeldrehzahl nicht überschritten wird.

## Gutachten

**Zur Bewertung der Funktionalität von Eisansatzerkennungssystemen  
zur Verhinderung von Eisabwurf an ENERCON Windenergieanlagen:**

**Eisansatzerkennung nach dem ENERCON-Kennlinienverfahren**

Erstellt im Auftrag für

ENERCON  
Dreekamp 5 F&E  
26605 Aurich  
Deutschland



Rev.	Datum	Änderungen
0	18.11.2014	Erste Fassung
1	22.08.2016	Formale Änderungen, Spezifizierung der Detektionszeit
2	20.04.2017	Ergänzung E-141 EP4, Berücksichtigung von Weiterentwicklungen
3	13.06.2017	Ergänzende Betrachtung bei vorgegebenem min. Blattwinkel (Kap. 5.3.3)
4	06.02.2018	Kombination mit Labko Eissensor, Ergänzung von Trudeldrehzahlen
5	19.09.2018	Ergänzung von Anlagenvarianten, Änderung bzgl. zusätzlicher Eiserkennungssysteme
6	04.06.2020	Reduzierung des Umfangs auf Bewertung des Kennlinienverfahrens, redaktionelle Änderungen, Aktualisierung von Dokumenten
7	09.12.2021	Neue Portierung für das Eiskennlinienverfahren, Dokumente /22/ und /23/ aufgenommen.

**TÜV NORD Bericht Nr.:** 8111 881 239 Rev.7

**Gegenstand der Prüfung:** Eisansatzerkennung durch das ENERCON Kennlini-  
enverfahren

**Anlagenhersteller:** ENERCON  
Dreekamp 5 F&E  
26605 Aurich  
Deutschland

**Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:**

Verfasser	 Dipl.-Ing. (FH) G. Ewald Sachverständiger	Hamburg, 09.12.2021
Geprüft durch	 Dipl.-Ing. O. Raupach Sachverständiger	Hamburg, 09.12.2021

An der Prüfung beteiligt:

B.Sc. F. Lautenschlager

Für weitere Auskünfte:

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG

Gunnar Ewald

Große Bahnstraße 31

22525 Hamburg

Tel.: +49 40 8557 1449

E-Mail: [gewald@tuev-nord.de](mailto:gewald@tuev-nord.de)



## Inhalt

1	Einleitung.....	5
1.1	Ausgangssituation .....	5
1.2	Eisansatzerkennung nach dem Kennlinienverfahren .....	6
1.3	Gültigkeitsbereich .....	6
1.4	Beschreibung der Bewertungskette .....	6
1.4.1	Bewertungsmaßstäbe .....	6
1.4.2	Grenzen der Bewertung .....	7
1.4.3	Beschreibung der Vorgehensweise .....	7
2	Untersuchungen zur Eisdicke und zur Eiswurfweite .....	8
2.1	Bestimmung einer kritischen Eisdicke .....	8
2.1.1	Festlegung von Randbedingungen für den Eisabwurf .....	8
2.1.2	Ermittlung eines kritischen Eisobjektes .....	12
2.1.3	Ermittlung einer kritischen Zeit zur Bildung eines kritischen Eisobjektes.....	14
2.2	Untersuchung zum Eisabwurf beim Leerlauf (Startbetrieb) .....	15
2.2.1	Festlegung der Randbedingungen für den Eisabwurf beim Leerlauf	15
2.2.2	Ermittlung der Eisabwurfweite für den Leerlauf.....	17
2.2.3	Bewertung und Zusammenfassung der Eisabwurfweite für den Leerlauf .....	21
2.2.4	Ergänzende Informationen zum Trudelbetrieb .....	22
3	Beschreibung des Eiserkennungsalgorithmus.....	23
3.1	Programmablauf .....	23
3.1.1	Prüfung des Programmablaufs auf Plausibilität .....	23
3.1.2	Prüfung von Lücken/Unsicherheiten im Programmablauf .....	23
3.2	Bewertung des Messprinzips beim ENERCON Eiserkennungsverfahren	23
3.3	Bewertung der Algorithmen beim Kennlinienverfahren.....	24
3.3.1	Messbericht Meteotest: „Performance of the ENERCON ice detection system“ .....	24
3.3.2	Beobachtungen und Bewertungen zum Messbericht Meteotest .....	24
3.3.3	Messung an der Anlage „WEA 2“ .....	25
3.4	Grenzen der Bewertungskette .....	26
3.4.1	Geschlossenheit der Bewertungskette und Schnittstellen .....	26

3.4.2	Repräsentativität der Messung .....	26
3.4.3	Unsicherheiten der Messung .....	27
3.4.4	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Anlagen .....	27
4	Zusammenfassung und Ergebnis der Bewertung.....	27
5	Dokumente und Literaturverzeichnis .....	29
5.1	Geprüfte Dokumente .....	29
5.2	Literatur .....	31
5.2.1	Literatur zu Kapitel 2.1 und 2.2 .....	31

## Tabellen

Tabelle 2.1:	Gewähltes Eisobjekt.....	11
Tabelle 2.2:	Untersuchungsergebnisse unter den gegebenen Randbed. (Würfel).....	13
Tabelle 2.3:	Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte. Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J.....	13
Tabelle 2.4:	Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte. Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J und Windgeschw. kleiner gleich 20 m/s.....	14
Tabelle 2.5:	Detektionszeiten bis zum Aufwachsen einer kritischen Eisdicke.....	15
Tabelle 2.6:	Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 3 m/s). ....	18
Tabelle 2.7:	Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 5 m/s). ....	19
Tabelle 2.8:	Maximale Trudeldrehzahl .....	22

## Abbildungen

Abbildung 1:	Abwurfwinkel Eisobjekt Würfel. ....	11
Abbildung 2:	Flugbahn unter den gegebenen Randbed. – Eisobjekt Würfel (E-82, 78 m Nabenhöhe) .....	12
Abbildung 3:	Treffer Eisabwurf (Würfel) Leerlauf, Windgeschw. 3 m/s. ENERCON E-82, Nabenhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt) .....	20
Abbildung 4:	Treffer Eisabwurf (144 generierte Eisobjekte) Leerlauf, Windgeschw. 3 m/s. ENERCON E-82, Nabenhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt) .....	20
Abbildung 5:	Übersicht der aufgezeichneten Signale während der gesamten Messperiode für WEA 09 ohne RBH. ....	25

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Rotorblätter von Windenergieanlagen (WEA), die in Regionen mit Temperaturen unter +2°C aufgestellt werden, können bei ungünstigen Bedingungen Eis ansammeln. Aus der dann entstehenden Eisschicht können sich durch Abtauen oder Blattverformung Eisbrocken ablösen, die im Betrieb der Anlage vom Rotorblatt abgeworfen werden (Eisabwurf) und zu Personen- oder Sachschäden im Wurfbereich der Anlage führen können. Ab einer bestimmten Masse der abgeworfenen Brocken besteht damit eine zu beachtende Gefahr. Beobachtungen zeigen abgeworfene Brocken mit einer Masse von mehreren kg, jedoch sind dem TÜV NORD bisher keine Personenschäden bekannt geworden.

An den Anlagen installierte Eiserkennungssysteme dienen dem Zweck, dass die Anlage bei erkannter Vereisung der Rotorblätter abgeschaltet wird und somit keine Gefahr von Eisabwurf mehr besteht. Das Eis wird dann von den Blättern der stehenden / trudelnden Anlage abfallen (Eisabfall), bevor die Anlage wieder in den Betrieb genommen wird.

Eiserkennungssysteme verfügen generell über einen Sensor und eine Auswerteeinheit. Das Sensorsignal wird durch vereiste Rotorblätter beeinflusst und kann beispielsweise die Leistung der Anlage oder die Blattbeschleunigung sein. Die Auswerteeinheit übernimmt die Aufgabe, das Sensorsignal auszuwerten und daraus einen Indikator für Vereisung zu generieren. Üblicher Weise gibt es einen Schwellwert, bei dessen Überschreitung das Eiserkennungssystem ein Abschalten der Anlage initiiert. Oft ist dieser Schwellwert spezifisch für jeden Anlagentyp oder gar jede Anlage einzustellen.

Die Bewertung von Eiserkennungssystemen erfolgte bisher in Gutachterlichen Stellungnahmen über Plausibilitätsprüfungen. Es wurde Stellung bezogen zum physikalischen Prinzip der Erkennung bzw. zu der Frage, ob die durch den Eisansatz hervorgerufene Veränderung der Anlageneigenschaften zu einer detektierbaren Veränderung des Sensorsignals führt. Außerdem wurde Stellung bezogen zu auftretenden Lücken der Messung im Betriebsbereich der Anlage. Die Bewertung beschränkte sich jedoch auf eine rein qualitative Bewertung bzw. Plausibilitätsprüfung.

Gerade vor dem Hintergrund, dass ein Eiserkennungssystem immer im Zusammenhang mit der Anlage und der vorliegenden Vereisung zu bewerten ist, wurden seitens der Genehmigungsbehörden die Anforderungen an die Bewertung von Eiserkennungssystemen in den letzten Monaten erhöht. Es ist durch genauere, teilweise quantitative Untersuchungen zu indizieren, dass das Eiserkennungssystem

- dem „Stand der Technik“ entspricht,
- hinsichtlich der Schwellwerte und Parameter korrekt auf die Anlage eingestellt ist,
- sicherheitstechnisch funktioniert.

Eine Aussage zum Stand der Technik erfolgt über die Untersuchung, ob das Eiserkennungssystem in der Lage ist, eine vorher definierte, kritische Eisdicke zu detektieren und ob das System hinsichtlich der Hardware die notwendigen Voraussetzungen hinsichtlich Zuverlässigkeit erfüllt. In diesem Sinne ist das vorliegende Gutachten aufgebaut.

## 1.2 Eisansatzerkennung nach dem Kennlinienverfahren

Das ENERCON Eiserkennungsverfahren ist ein Kennlinienverfahren und unterteilt in die Erkennung über die Leistung und die Erkennung über den Blattwinkel. Voraussetzung zur Aktivierung des Verfahrens ist eine Unterschreitung der direkt an der Windenergieanlage gemessenen Außentemperatur unter einen kritischen Schwellenwert ( $+2^{\circ}\text{C}$ ).

Die von der Windenergieanlage erbrachte elektrische Leistung wird mit Referenzwerten des unvereisten Produktionsbetriebs bei gleicher Windgeschwindigkeit verglichen. Bei Abweichung der Leistungsabgabe gegenüber dem Referenzwert wird von einer Veränderung der aerodynamischen Beiwerte der Rotorblätter aufgrund von Vereisung ausgegangen. Die Anlage wird dann kontrolliert abgeschaltet.

Im Volllastbereich wird die Anlage ggf. auch mit vereisten Rotorblättern die volle elektrische Leistung erbringen, so dass anhand dieses Parameters keine Vereisung mehr zu erkennen ist. Die Anlage wird bei Erreichen der vollen elektrischen Leistung unter Anwendung des Regelalgorithmus die Rotorblattwinkel zur Leistungs- und Drehzahlregelung verstellen. Deshalb wird neben den Leistungskennwerten auch der Rotorblattwinkel mit den Referenzwerten des unvereisten Produktionsbetriebs bei gleicher Windgeschwindigkeit verglichen. Bei Abweichung im anliegenden Rotorblattwinkel gegenüber dem Referenzwert wird von einer Veränderung der aerodynamischen Beiwerte der Rotorblätter aufgrund von Vereisung ausgegangen und die Anlage wird kontrolliert abgeschaltet.

Die Zuverlässigkeit des Eiserkennungsverfahrens ist somit stark von einer zuverlässigen Wind- und Temperaturmessung, auch unter Vereisungsbedingungen, abhängig.

Mit dieser Methode ist keine Eiserkennung bei stillstehendem oder trudelndem Rotor möglich. Im Produktionsbetrieb bei sehr niedrigen und unbeständigen Windgeschwindigkeiten nahe der Einschaltwindgeschwindigkeit kann die Zuverlässigkeit des Verfahrens sinken.

## 1.3 Gültigkeitsbereich

Dieses Gutachten ist gültig für alle ENERCON Windenergieanlagen, in denen das Kennlinienverfahren mit den ENERCON-Standard Einstellungen der Parameter zum Einsatz kommt, d.h. nicht deaktiviert oder über die Schwellwerte in der Leistungsfähigkeit der Eisansatzerkennung herabgesetzt ist.

Änderungen an diesen Parametern sind jeweils nur nach Prüfung durch ENERCON möglich.

## 1.4 Beschreibung der Bewertungskette

### 1.4.1 Bewertungsmaßstäbe

Die Bewertung erfolgt in Bezug auf das sichere Abschalten der WEA bei kritischem Eisansatz an den Rotorblättern. Weil es keine Richtlinie gibt, nach der Eiserkennungssysteme zu bewerten sind, ist die Form dieser Bewertung ein Gutachten, in dem die einzelnen Schritte der Bewertung beschrieben werden. Anhaltspunkte zur Bewertung liefert das von der Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Rheinland Pfalz, herausgegebene

„MERKBLATT für Vorhaben zur Errichtung von Windenergieanlagen hinsichtlich immissionsschutzrechtlicher und arbeitsschutzrechtlicher Anforderungen an die Antragsunterlagen in Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG mit Anlagen A und B)“, Fassung vom Oktober 2019.

## 1.4.2 Grenzen der Bewertung

Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf die Funktionalität der Systeme bezüglich Verhinderung von *Eisabwurf*. Eine Untersuchung bezüglich Eisabfall wird hier nicht behandelt, denn Eisabfall von einer stehenden/trudelnden Anlage kann nicht verhindert werden. Die Gefahr bezüglich Eisabfall sollte immer standortspezifisch, in Abhängigkeit gefährdeter Objekte im für Eisabfall kritischen Radius um die Anlage bewertet werden.

## 1.4.3 Beschreibung der Vorgehensweise

Die Bewertung der Eiserkennungssysteme hat zum Ziel, quantitative Aussagen zur Detektionsfähigkeit der Systeme zur Eiserkennung zu treffen und damit in Hinblick auf die Windenergieanlage (WEA) Aussagen zu treffen, ob und unter welchen Bedingungen eine Detektion einer Vereisung der Rotorblätter im Betrieb der WEA funktioniert. Weiterhin werden qualitative Aussagen zur Einbindung der Systeme in die Steuerung der WEA getroffen, um die sichere Abschaltung der WEA bei Eiserkennung und das Wiederanfahren nach Vereisung zu bewerten.

Das Vorgehen zur Bewertung unterteilt sich in die folgenden Schritte:

### 1. Bestimmung einer kritischen Eisdicke

(s. Kap. 2.1) Die Bestimmung der kritischen Eisdicke erfolgt für ausgewählte Anlagen des ENERCON Produktspektrums, um eine Eisdicke festzulegen, die für alle Anlagen der Produktübersicht /14/ als kritisch einzustufen ist. Diese Eisdicke wird bei der Bewertung des Eisdetektionsalgorithmus einbezogen.

### 2. Untersuchung zu Eisabwurf beim Leerlauf

(s. Kap. 2.2) Diese Untersuchung hat zum Ziel, die Eiswurfweite beim Leerlauf vor dem Starten der Anlage zu untersuchen. Damit kann eine Aussage getroffen werden, ob die beim Leerlauf abgeworfenen Eisstücke weniger weit geworfen werden als der kritische Radius für Eisabfall beträgt und somit der Leerlauf der Anlage für das Thema Eisabwurf unkritisch ist.

### 3. Analyse des Programmablaufs

(s. Kap. 3.1) Diese Untersuchung betrifft die Prüfung des Programmablaufes auf Plausibilität, Nachvollziehbarkeit und Lücken.

### 4. Bewertung des Eisdetektionsalgorithmus

(s. Kap. 3.3) Die Bewertung des Algorithmus basiert auf einem Messbericht und hat zum Ziel, Aussagen darüber zu treffen, ob der Algorithmus funktionsfähig ist und ob die in der Anlage eingestellten Schwellwerte und Parameter des Algorithmus zur Erkennung der zuvor ermittelten kritischen Eisdicke führen.

## 2 Untersuchungen zur Eisdicke und zur Eiswurfweite

### 2.1 Bestimmung einer kritischen Eisdicke

Gegenstand der Untersuchung ist die Bewertung, inwieweit das zu betrachtende Eiserkennungssystem geeignet ist, Eisabwurf im Betrieb der Anlage durch frühzeitiges Abschalten der Anlage zu verhindern, bevor sich eine kritische Eisdicke am Blatt akkumuliert hat. Es ist somit erforderlich in einem ersten Schritt eine kritische Eisdicke festzulegen. Dies erfolgt in einzelnen Arbeitsschritten:

- Festlegung von Randbedingungen für den Eisabwurf.
- Ermittlung eines kritischen Eisobjektes. Ein kritisches Eisobjekt ist definiert als ein Eisobjekt, welches aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für eine ungeschützte Person am Boden darstellt. Dem kritischen Eisobjekt werden eine kritische Eismasse und eine kritische Eisdicke zugeordnet.
- Ermittlung einer kritischen Zeit, bis zu der mit der Akkumulation der kritischen Eisdicke zu rechnen ist.

#### 2.1.1 Festlegung von Randbedingungen für den Eisabwurf

##### Verwendetes Rechenmodell:

Die Flugbahn von Eisobjekten lässt sich durch Überlagerung zweier Kräfte modellieren, der Schwerkraft und dem Winddruck. Die Erfahrung zeigt, dass die herabfallenden Eisobjekte eine sehr unregelmäßige Form besitzen und deshalb praktisch wenig Auftrieb erfahren, so dass in vertikaler Richtung im Wesentlichen die Schwerkraft und der Luftwiderstand wirken. Der Winddruck wirkt horizontal in x-Richtung (Achsenkonvention nach der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/). Zur Modellierung des Winddrucks werden jedem Eisobjekt ein konstanter Widerstandsbeiwert  $C_w$  /42/ und eine konstante Projektionsfläche  $A$  zugeordnet.

Der zeitabhängige Verlauf des Eisabwurfs lässt sich mit einem dreidimensionalen Modell beschreiben (in Anlehnung an /25/):

$$\ddot{x} = -\frac{\rho \cdot A \cdot C_w}{2 \cdot m} \cdot (\dot{x} - v) \cdot \sqrt{\dot{y}^2 + \dot{z}^2 + (\dot{x} - v)^2}, \quad (1)$$

$$\ddot{y} = -\frac{\rho \cdot A \cdot C_w}{2 \cdot m} \cdot \dot{y} \cdot \sqrt{\dot{y}^2 + \dot{z}^2 + (\dot{x} - v)^2} \quad \text{und} \quad (2)$$

$$\ddot{z} = -g - \frac{\rho \cdot A \cdot C_w}{2 \cdot m} \cdot \dot{z} \cdot \sqrt{\dot{y}^2 + \dot{z}^2 + (\dot{x} - v)^2} \quad (3)$$

mit

$x$  = horizontale Koordinate (senkrecht zur y-z-Ebene) [m]

$y$  = horizontale Koordinate [m],

$z$  = vertikale Koordinate (y-z-Ebene entspricht der Rotationsebene) [m],



- $v$  = Windgeschwindigkeit in x-Richtung [m/s],  
 $g$  = Erdbeschleunigung [ $\text{m/s}^2$ ],  
 $\rho$  = Luftdichte [ $\text{kg/m}^3$ ],  
 $A$  = Projektionsfläche des Eisobjekts [ $\text{m}^2$ ],  
 $C_w$  = Luftwiderstandsbeiwert des Eisobjekts und  
 $m$  = Masse des Eisobjekts [kg].

### Anlagenbezogene Randbedingungen:

- WEA-Typ: Aus dem Anlagenportfolio /19/ wurden drei WEA-Typen ausgewählt, die als repräsentativ für die Produktpalette herangezogen werden können (kleine, mittlere und große Anlage). Es wurde jeweils die kleinste Nabenhöhe ausgewählt, da diese nach unseren Untersuchungen für die Ermittlung der kritischen Eisdicke des Eisabwurfs konservativ ist.
- E-44 mit 45,0 m Nabenhöhe, 44,0 m Rotordurchmesser /19/
  - E-82 mit 78,0 m Nabenhöhe, 82,0 m Rotordurchmesser /19/
  - E-126 mit 135,0 m Nabenhöhe, 127,0 m Rotordurchmesser /19/
- Drehzahl bei Eisabwurf: Für die Drehzahl wird jeweils die maximale Anlagendrehzahl berücksichtigt /19/.
- E-44 Rotordrehzahl 34,5 U/min
  - E-82 Rotordrehzahl 18 U/min
  - E-126 Rotordrehzahl 12,1 U/min

### Physikalische Randbedingungen:

- Luftdichte: Die Luftdichte wird gemäß der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/ zu  $1,225 \text{ kg/m}^3$  festgelegt.
- Die gewählte Luftdichte ist für den betrachteten Eisabwurf als konservativ zu betrachten, da sie gegenüber der bei Eisansatzbedingungen zu erwartenden Luftdichte von ca.  $1,27 \text{ kg/m}^3$  (siehe unsere Untersuchungen /27/) zu einer höheren Aufprallgeschwindigkeit führt.

- Windgeschwindigkeit:** Zur Festlegung der Windgeschwindigkeit wird in einem ersten Schritt die jeweilige anlagenbezogene Abschaltwindgeschwindigkeit (25,0 m/s) auf Nabenhöhe (ohne Sturmregelung) zugrunde gelegt /19/.
- Höhenabhängigkeit:** Die Windgeschwindigkeit wird als Funktion der Höhe modelliert, hierzu wird das exponentielle Windprofil verwendet. Der Höhenexponent  $\alpha$  wird gemäß der IEC 61400-1 ed. 3 /24/ zu 0,2 festgelegt.
- Erdbeschleunigung:** Die Erdbeschleunigung wird zu  $9,81 \text{ m/s}^2$  festgelegt.

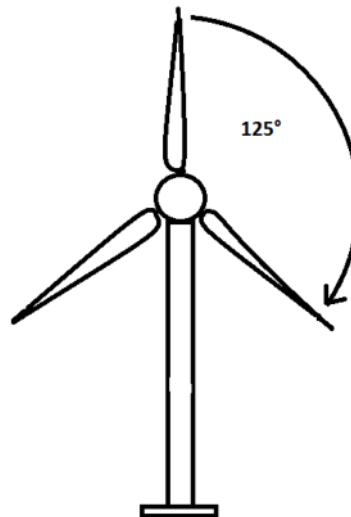
Die kritische Eisdicke wurde in zwei getrennten Schritten mit unterschiedlichen Randbedingungen ermittelt. In einem ersten Schritt wurde für die Ermittlung der kritischen Eisdicke ein Würfel untersucht (kompaktes Eisobjekt). Die hierfür gewählten Randbedingungen sind im Folgenden dargestellt („Schritt eins“). Im zweiten Schritt wurden unter anderem die Anzahl und die Objektgeometrie der zugrunde gelegten Eisobjekte variiert.

#### Randbedingungen zum Eisabwurf („Schritt eins“, Würfel):

- Gewicht und Geometrie der Eisobjekte:** In Feldstudien /26/ hat sich gezeigt, dass das Gewicht der Eisobjekte für die Fallweite von geringer Relevanz ist. Die Flugeigenschaften werden im Wesentlichen von der Geometrie und dem  $c_w$ -Wert beeinflusst. Die Gewichte der Eisobjekte normieren wir unter Zugrundelegung der Kenntnisse aus /26/ (geringe Relevanz, siehe vorherigen Absatz) auf 1,0 kg (zur normierten Ermittlung der Flugbahn). Die Normierung ist nach eigenen Untersuchungen bzgl. der Ermittlung der Eisdicke (Eisabwurf) über die Aufprallenergie konservativ.
- Auf Basis eigener Untersuchungen (siehe z.B. /38/, /39/) wird als zu betrachtendes Eisobjekt im ersten Schritt ein Würfel angesetzt (siehe Tabelle 2.1). Der Würfel ist gegenüber länglichen Eisobjekten hinsichtlich der Aufprallgeschwindigkeit und der resultierenden Aufprallenergie als konservativ zu betrachten.
- Lageparameter des Eisobjekts:** Die maximale Umfangsgeschwindigkeit ist an der Rotorblattspitze gegeben. Im Rahmen der Modellierung wird angesetzt, dass sich das Eisobjekt zum Zeitpunkt des Abwurfs an der Rotorblattspitze befindet und somit die größtmögliche Startenergie besitzt.
- Lageparameter des Rotorblattes (Abwurfwinkel):** Die Aufprallgeschwindigkeit des Eisobjekts ist auf Basis eigener Untersuchungen im Wesentlichen von der Lage des Eisobjekts zum Zeitpunkt des Abwurfs (gegeben durch Lage des Rotorblattes in der Rotorebene und der Lage des



Eisobjekts auf dem Rotorblatt) und von der Höhe der WEA abhängig (die Aufprallgeschwindigkeit reduziert sich mit zunehmender Höhe – Einfluss des Luftwiderstands). Unter den genannten Aspekten wird der Abwurfwinkel zu 125° ca. 4 Uhr festgesetzt (ausgehend von der 0:00 Uhr Position im Uhrzeigersinn).



**Abbildung 1:** Abwurfwinkel Eisobjekt Würfel.

Masse [kg]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Form	mittlere Fläche [m <sup>2</sup> ]	mittlerer C <sub>w</sub> -Wert [-]
1,0	700	Würfel	0,013	1,11

**Tabelle 2.1:** Gewähltes Eisobjekt.

Randbedingungen zur Schadensbewertung:

Dichte des Eises: Die Dichte des Eises wird gemäß der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/ zu 700 kg/m<sup>3</sup> festgelegt.

Kritische Aufprallenergie: Für die Ermittlung der kritischen Eisdicke wird die kritische Aufprallenergie (kinetische Energie) gemäß /40/ auf 40 J festgelegt. Die kritische Aufprallenergie (kinetische Energie) berechnet sich zu

$$E_{kin} = 1/2 \cdot m \cdot v^2.$$

mit

E<sub>kin</sub>: kinetische Energie [J],  
m: Masse des Eisobjekts [kg] und  
v: Aufprallgeschwindigkeit [m/s].

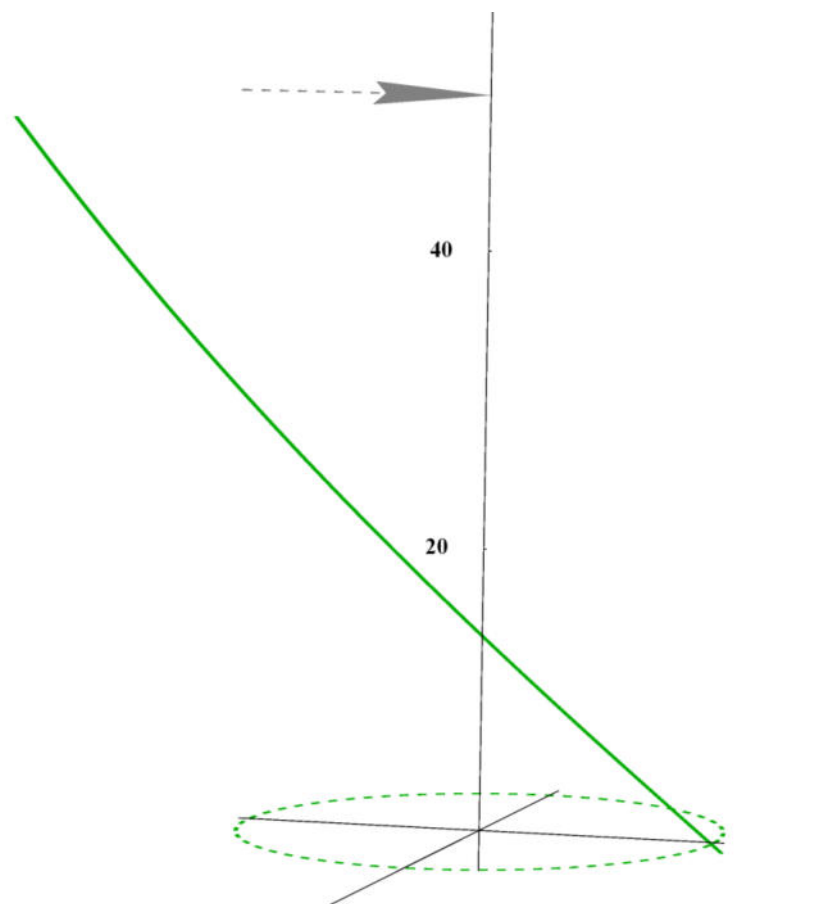
Die Masse wird hierbei vereinfacht punktförmig angenommen.

## 2.1.2 Ermittlung eines kritischen Eisobjektes

Ein kritisches Eisobjekt ist definiert als ein Eisobjekt, welches aufgrund seiner Aufprallenergie eine Gefahr für eine ungeschützte Person am Boden darstellt. Dem kritischen Eisobjekt werden eine kritische Eismasse und eine kritische Eisdicke zugeordnet. Zur Ermittlung sind die folgenden Arbeitsschritte erforderlich:

- Ermittlung der Aufprallgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der festgelegten Randbedingungen.
- Ermittlung der kritischen Eismasse unter Berücksichtigung der ermittelten Aufprallgeschwindigkeit und der festgelegten kritischen Aufprallenergie.
- Ermittlung der kritischen Eisdicke für einen Würfel (gewählte Geometrie des Eisobjekts) unter Berücksichtigung der festgelegten Eisdichte und der ermittelten kritischen Eismasse.

In Abbildung 2 ist die Flugbahn eines Eisobjekts unter Berücksichtigung der festgelegten Randbedingungen dargestellt. Die Randbedingungen (siehe Kapitel 2.1.1) wurden so gewählt, dass eine maximale Aufprallgeschwindigkeit vorliegt (Geometrie Würfel, Abwurfwinkel, geringer Abstand Abwurfpunkt Boden).



**Abbildung 2:**

Flugbahn unter den gegebenen Randbed. – Eisobjekt Würfel  
(E-82, 78 m Nabenhöhe)

Aufgrund der gewählten Randbedingungen ist die erzielte Wurfweite minimal – im Sinne einer „Worst-Case“ Betrachtung sind die Aufprallgeschwindigkeit und die resultierende Aufprallenergie für die Ermittlung der kritischen Eisdicken entscheidend. Auf Basis der ermittelten Aufprallgeschwindigkeiten wurden für die untersuchten WEA-Typen die kritischen Eismassen unter Berücksichtigung der festgelegten kritischen Aufprallenergie von 40J und die daraus resultierenden kritischen Eisdicken ermittelt (siehe Tabelle 2.2).

	E-44	E-82	E-126
Aufprallgeschwindigkeit [m/s]	59,8	50,5	42,9
Kritische Eismasse [g]	22,4	31,3	43,6
Kritische Eisdicke [cm]	3,2	3,6	4

**Tabelle 2.2:** Untersuchungsergebnisse unter den gegebenen Randbed. (Würfel).

Vergleicht man den Würfel („Schritt eins“) mit beobachteten Eisobjekten aus der Praxis (TÜV NORD Erfahrungen aus den Wiederkehrenden Prüfungen und Literaturquellen /26/, /29/, /30/) sowie Modellrechnungen (Turbine /29/, /33/, /34/, /35/), so ist festzustellen, dass der Würfel als gewähltes Eisobjekt nicht die Bandbreite der möglichen abgeworfenen Eisobjekte abdeckt. Aus diesem Grund wurden in einem zweiten Schritt etwa 144 verschiedene Eisobjekte mit ihren objektspezifischen Massen generiert (Randbedingungen der Eisobjekte: B; H; L: 10 cm; 0,3 cm bis 5 cm; 5 cm bis 20 cm; Dichte 700 kg/m<sup>3</sup> /28/) und die Aufprallenergie unter Variation der Abwurfbedingungen ermittelt. Die folgenden Randbedingungen wurden für die Parameterstudie („Schritt zwei“) der generierten Eisobjekte gegenüber dem ersten Schritt (Würfel) variiert:

- Die Windgeschwindigkeit wurde von 15 m/s bis 25 m/s (Abschaltwindgeschwindigkeit ohne Sturmregelung /19/) kontinuierlich mit einer Schrittweite von 1 m/s variiert. Für die Ermittlung der kritischen Eisdicke hat sich gezeigt, dass der oberen Windgeschwindigkeitsbereich maßgeblich ist.
- Die Lage des Rotorblattes in der Rotorebene (Abwurfwinkel) wurde in 10° Schritten von 0° bis 360° variiert.

Für jedes abgeworfene Eisobjekt wurden die Aufprallgeschwindigkeit sowie die zugehörige Aufprallenergie ermittelt und mit der zugrunde gelegten kritischen Aufprallenergie von 40 J verglichen (siehe Kapitel 2.1.1). In der Tabelle 2.3 sind die daraus resultierenden minimalen Eisdicken für die untersuchten WEA-Typen angegeben.

	E-44	E-82	E-126
Aufprallgeschwindigkeit [m/s]	23,0	21,9	21,1
Masse [kg]	0,154	0,168	0,182
Dicke [cm]	1,1	1,2	1,3
Windgeschwindigkeit [m/s]	25	25	25

**Tabelle 2.3:** Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte.  
Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J.

Die Ergebnisse in Tabelle 2.3 zeigen, dass die ermittelte kritische Eisdicke mit einer hohen Windgeschwindigkeit (Abschaltwindgeschwindigkeit 25 m/s) einhergeht. Gemäß Deutschem Wetterdienst (DWD) /41/ entspricht eine Windgeschwindigkeit von 25 m/s einem „schwerem Sturm“, bei dem mit brechenden Bäumen und größeren Schäden an Häusern zu rechnen ist. Die Ergebnisse aus /27/ und weiteren internen Studien zeigen, dass an den überwiegenden Standorten in Deutschland bei Eisansatz überwiegend mit niedrigeren Windgeschwindigkeiten, bezogen auf die Ganzjahreswindstatistik, zu rechnen ist. Auf dieser Basis wurde für die Auswahl des kritischen Eisobjektes die Windgeschwindigkeit auf kleiner gleich 20 m/s begrenzt. Gemäß DWD /41/ ist bei einer Windgeschwindigkeit von 20 m/s („Sturm“) immer noch mit brechenden Ästen von Bäumen (vergleichbar mit der Gefährdung durch herabfallende Eisobjekte) und einem beschwerlichem Gehen zurechnen. Daraus ergeben sich die in Tabelle 2.4 dargestellten kritischen Eisdicken.

	E-44	E-82	E-126
Aufprallgeschwindigkeit [m/s]	21,1	20,4	20,0
Masse [kg]	0,182	0,196	0,210
Dicke [cm]	1,3	1,4	1,5
Windgeschwindigkeit [m/s]	20	20	20

**Tabelle 2.4:** Untersuchungsergebnisse: Variation der generierten Eisobjekte. Auswahlkriterium: kinetische Energie größer 40 J und Windgeschw. kleiner gleich 20 m/s.

Die Ergebnisse aus Tabelle 2.3 und Tabelle 2.4 zeigen, dass mit zunehmender Anlagengröße die kritische Eisdicke zunimmt. Dies ist unter anderem durch den längeren Flugweg und die größere Flugzeit der abgeworfenen Eisobjekte begründet. Die hohe Anfangsgeschwindigkeit, die durch die Blattspitzengeschwindigkeit auf das abgeworfene Eisobjekt wirkt, wird über den Flugweg durch den Luftwiderstand zunehmend abgebremst. Daraus folgt, dass mit zunehmendem Flugweg (größere Anlage) die Aufprallgeschwindigkeit sinkt und damit die kritische Masse sowie die kritische Eisdicke steigen.

Abschließend werden die kritischen Eisdicken, unter Berücksichtigung einer niedrigeren Windgeschwindigkeit bei Eisansatz /27/, zu den in Tabelle 2.4 aufgeführten Dicken festgelegt. Die dünnste ermittelte kritische Eisdicke stellt sich somit bei der ENERCON E-44 (Nabenhöhe 45 m) zu 1,3 cm ein.

### 2.1.3 Ermittlung einer kritischen Zeit zur Bildung eines kritischen Eisobjektes

In der Vergangenheit gab es zum Eiswachstum verschiedene Studien auf Basis der Simulationsprogramme /29/, /33/, /34/, /35/ (WEA – Vereisung von Rotorblättern) und LEWICE /33/ (Luftfahrt – Vereisung von Tragflächen) sowie auf Basis experimenteller Windkanalversuche /29/, /33/, /36/.

Die Studien zeigen übereinstimmend die folgenden Ergebnisse:

- Die Eiswachstumsrate von Raureif (Eisdicke pro Zeiteinheit [mm/min]) nimmt mit zunehmender Größe der WEA (450 kW bis 2 MW) ab (0,75 mm/min bis 0,45 mm/min) /34/, /35/. Zusätzlich zu den Versuchsergebnissen /34/ wurde dieses

Phänomen zunächst in einem Windpark beobachtet und daraufhin näher untersucht /34/.

- Raureif wächst insgesamt dicker auf als Klareis /33/, /36/ besitzt aber eine geringere Dichte /37/ (Raureif: 600 bis 900 kg/m<sup>3</sup>, Klareis 900 kg/m<sup>3</sup>).
- Die Eiwachstumsrate liegt in einem Bereich von 0,45 mm/min /34/ bis 3 mm/min /33/.

Zusammenfassend wird die Eiwachstumsrate zu 1 mm/min festgelegt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Eiwachstumsrate mit zunehmender Größe der WEA abnimmt /34/, /35/ - gemäß der Erkenntnisse aus /34/ eher unterhalb von 1 mm/min liegt. Die festgelegte Eiwachstumsrate gilt in Anlehnung an /36/ (Studie DTU Wind Energy 2013) für Klareis, Raureif bzw. einer Vereisungsmischung /36/.

Auf Basis der ermittelten kritischen Eisdicken (siehe Tabelle 2.4) ergibt sich die kritische Zeit, bis zu der mit der Akkumulation der kritischen Eisdicke zu rechnen ist, ca. zu den in Tabelle 2.5 aufgeführten Werten. Innerhalb dieser Zeit sollte das Eiserkennungssystem den Eisansatz erkannt und die WEA abgeschaltet haben, um den Eisabwurf eines kritischen Eisobjekts zu verhindern.

	E-44	E-82	E-126
Detektionszeit [min]	13	14	15

**Tabelle 2.5:** Detektionszeiten bis zum Aufwachsen einer kritischen Eisdicke.

Auf Grund der sehr konservativ gewählten Eiwachstumsrate von 1 mm/min kann für alle in der Produktübersicht /14/ aufgeführten ENERCON Windenergieanlagen, eine Detektionszeit von 15 Minuten angesetzt werden.

## 2.2 Untersuchung zum Eisabwurf beim Leerlauf (Startbetrieb)

Beim Start der ENERCON WEA vom Stillstandsbetrieb in den Leistungsbetrieb werden die WEA zunächst in einen Startbetrieb gefahren. Der Startvorgang ist insbesondere durch eine erhöhte Drehzahl gegenüber dem normalen Trudelbetrieb gekennzeichnet, sowie dadurch, dass die Windgeschwindigkeit beim Start unter möglichen Vereisungsbedingungen im Bereich von 3 m/s bis 5 m/s liegt.

Im Folgenden werden die Auswirkungen des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s) auf die Abwurfweiten bei Eisabwurf untersucht und mit der nicht vermeidbaren Gefährdung durch Eisabfall verglichen.

### 2.2.1 Festlegung der Randbedingungen für den Eisabwurf beim Leerlauf

#### Anlagenbezogene Randbedingungen:

WEA-Typ: Aus dem Anlagenportfolio /15/, /19/ wurden die folgenden WEA-Typen ausgewählt, die bzgl. der Anlagengröße und Drehzahl als repräsentativ für die Produktpalette herangezogen werden können.

- E-44 mit 45 m und 55 m Nabenhöhe, 44 m Rotor-durchmesser /19/
- E-48 mit 50 m und 76 m Nabenhöhe, 48 m Rotor-durchmesser /19/
- E-48 mit 60 m und 73 m Nabenhöhe, 53 m Rotor-durchmesser /19/
- E-82 mit 78 m und 138 m Nabenhöhe, 82 m Rotor-durchmesser /19/
- E-115 mit 92 m und 149 m Nabenhöhe, 115 m Rotor-durchmesser /19/
- E-126 mit 135 m Nabenhöhe, 127 m Rotordurch-messer /19/
- E-141 mit 129 m und 159 m Nabenhöhe, 141 m Rotor-durchmesser /15/

Für eine gute Abdeckung der jeweiligen Anlagenparameter wurden jeweils die höchste und die niedrigste Nabenhöhe für die Untersuchung des Leerlaufs (Startbetrieb) ausgewählt.

Drehzahl bei Eisabwurf: Für die Drehzahl wird die jeweilige Drehzahl des Leerlaufs berücksichtigt /15/, /20/:

- E-44 – 14 U/min
- E-48 – 11 U/min
- E-53 – 10 U/min
- E-82 – 5 U/min
- E-115 – 4 U/min
- E-126 – 5 U/min
- E-141 – 4 U/min

#### Physikalische Randbedingungen:

Luftdichte: Die Luftdichte wird gemäß der GL Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen /28/ zu  $1,225 \text{ kg/m}^3$  festgelegt.

Windgeschwindigkeit: Für die Windgeschwindigkeit wird eine Einschaltwindgeschwindigkeit von 3 m/s sowie 5 m/s berücksichtigt (siehe /12/)

Höhenabhängigkeit: Die Windgeschwindigkeit wird als Funktion der Höhe modelliert, hierzu wird das exponentielle Windprofil verwendet. Der Höhenexponent  $\alpha$  wird gemäß der IEC 61400-1 ed. 3 /24/ zu 0,2 festgelegt.

Erdbeschleunigung: Die Erdbeschleunigung wird zu  $9,81 \text{ m/s}^2$  festgelegt.

### Randbedingungen zum Eisabwurf:

**Gewicht und Geometrie der Eisobjekte:** Für Gewicht und Geometrie werden die zur Ermittlung der kritischen Eisdicke untersuchten Eisobjekte herangezogen.

- Der Würfel (siehe 2.1.1, Tabelle 2.1, Ermittlung der kritischen Eisdicke „Schritt eins“) sowie
- die 144 verschiedene Eisobjekte, mit den folgenden Randbedingungen: B; H; L: 10 cm; 0,3 cm bis 5 cm; 5 cm bis 20 cm (siehe 2.1.2, Ermittlung der kritischen Eisdicke „Schritt zwei“). Hierbei werden die ermittelten kritischen Eisdicken als untere Grenze für die Auswahl der Eisobjekte mitberücksichtigt (siehe Kapitel 2.1.2, Tabelle 2.4)

Mit den gewählten Eisobjekten wird eine Vielzahl möglicher Eisobjekte abgedeckt.

**Lageparameter des Eisobjekts:** Die maximale Umfangsgeschwindigkeit ist an der Rotorblattspitze gegeben. Im Rahmen der Modellierung wird angesetzt, dass sich das Eisobjekt zum Zeitpunkt des Abwurfs an der Rotorblattspitze befindet und somit die größtmögliche Startenergie besitzt.

**Lageparameter des Rotorblattes (Abwurfwinkel):** Die Lage des Rotorblattes in der Rotorebene (Abwurfwinkel) wird in 10° Schritten von 0° bis 360° variiert.

### **2.2.2 Ermittlung der Eisabwurfweite für den Leerlauf**

Die Eisabwurfweiten für den Leerlauf wurden auf Basis der unter Kapitel 2.2.1 genannten Randbedingungen und dem in Kapitel 2.1.1 eingeführten Rechenmodell für den Eisabwurf ermittelt. Die Ergebnisse der maximalen Wurfweite der untersuchten Eisobjekte sind in der Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7 dargestellt. Die Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Treffer der untersuchten Eisobjekte (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt) beispielhaft für die ENERCON E-82 mit einer Nabenhöhe 138 m und einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s.

WEA-Typ	Nabenhöhe [m]	Gesamthöhe [m]	Untersuchte Eisobjekte	Maximale Wurfweite [m]	Verhältnis: max. Wurfweite/Gesamthöhe [%]
E-44	45,0	67,0	144 Eisobjekte	79,3	118
E-44	45,0	67,0	Würfel	95,2	142
E-44	55,0	77,0	144 Eisobjekte	82,2	107
E-44	55,0	77,0	Würfel	99,0	129



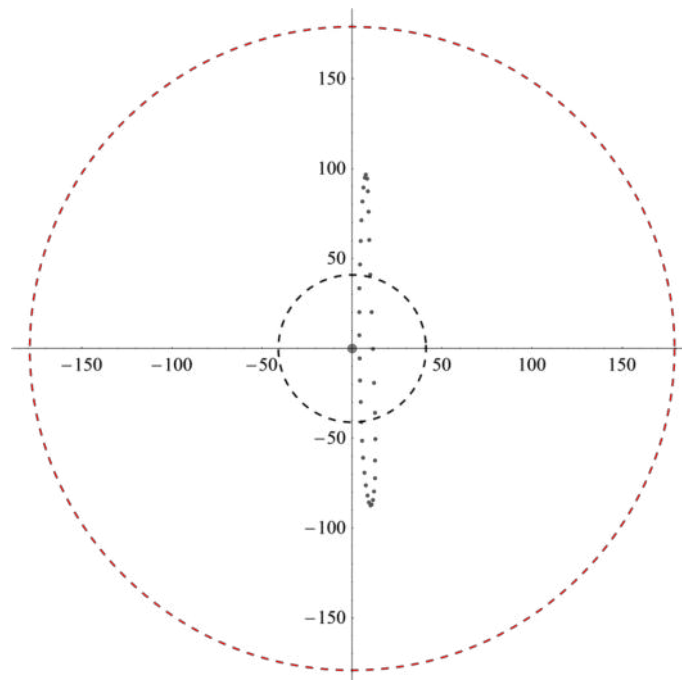
WEA-Typ	Nabenhöhe [m]	Gesamthöhe [m]	Untersuchte Eisobjekte	Maximale Wurfweite [m]	Verhältnis: max. Wurfweite/Gesamthöhe [%]
E-48	50,0	74,0	144 Eisobjekte	73,6	100
E-48	50,0	74,0	Würfel	86,0	116
E-48	76,0	114,0	144 Eisobjekte	79,1	79
E-48	76,0	114,0	Würfel	94,2	94
E-53	60,0	86,5	144 Eisobjekte	77,1	89
E-53	60,0	86,5	Würfel	90,0	105
E-53	73,0	99,5	144 Eisobjekte	80,0	80
E-53	73,0	99,5	Würfel	94,5	95
E-82	78,0	119,0	144 Eisobjekte	76,8	65
E-82	78,0	119,0	Würfel	85,0	71
E-82	138,0	179,0	144 Eisobjekte	83,8	47
E-82	138,0	179,0	Würfel	97,0	54
E-115	92	149,9	144 Eisobjekte	95,1	63
E-115	92	149,9	Würfel	106,0	71
E-115	149	206,9	144 Eisobjekte	100,8	49
E-115	149	206,9	Würfel	115,5	56
E-126	135,0	198,0	144 Eisobjekte	118,5	60
E-126	135,0	198,0	Würfel	140,7	71
E-141	129	199,5	144 Eisobjekte	117,2	59
E-141	129	199,5	Würfel	134,6	67
E-141	159	229,5	144 Eisobjekte	119,6	52
E-141	159	229,5	Würfel	138,5	60

**Tabelle 2.6:** Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 3 m/s).

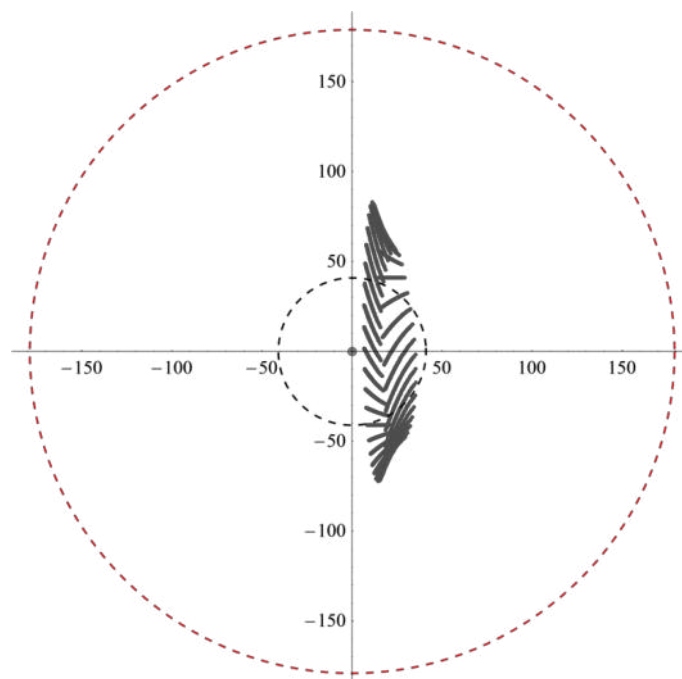


WEA-Typ	Nabenhöhe [m]	Gesamthöhe [m]	Untersuchte Eisobjekte	Maximale Wurfweite [m]	Verhältnis: max. Wurfweite/Gesamthöhe [%]
E-44	45,0	67,0	144 Eisobjekte	79,5	119
E-44	45,0	67,0	Würfel	95,3	142
E-44	55,0	77,0	144 Eisobjekte	82,6	107
E-44	55,0	77,0	Würfel	99,0	129
E-48	50,0	74,0	144 Eisobjekte	73,8	100
E-48	50,0	74,0	Würfel	85,9	116
E-48	76,0	114,0	144 Eisobjekte	79,6	80
E-48	76,0	114,0	Würfel	94,2	94
E-53	60,0	86,5	144 Eisobjekte	77,3	89
E-53	60,0	86,5	Würfel	90,4	105
E-53	73,0	99,5	144 Eisobjekte	80,4	81
E-53	73,0	99,5	Würfel	94,5	95
E-82	78,0	119,0	144 Eisobjekte	77,0	65
E-82	78,0	119,0	Würfel	85,0	71
E-82	138,0	179,0	144 Eisobjekte	84,8	47
E-82	138,0	179,0	Würfel	97,1	54
E-115	92	149,9	144 Eisobjekte	95,3	64
E-115	92	149,9	Würfel	105,9	71
E-115	149	206,9	144 Eisobjekte	101,8	49
E-115	149	206,9	Würfel	115,7	56
E-126	135,0	198,0	144 Eisobjekte	119,7	60
E-126	135,0	198,0	Würfel	140,9	71
E-141	129	199,5	144 Eisobjekte	117,9	59
E-141	129	199,5	Würfel	134,7	68
E-141	159	229,5	144 Eisobjekte	120,8	53
E-141	159	229,5	Würfel	138,8	60

**Tabelle 2.7:** Maximale Wurfweiten bei Eisabwurf Leerlauf (Windgeschw. 5 m/s).



**Abbildung 3:** Treffer Eisabwurf (Würfel) Leerlauf, Windgeschw. 3m/s. ENERCON E-82, Nabhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt)



**Abbildung 4:** Treffer Eisabwurf (144 generierte Eisobjekte) Leerlauf, Windgeschw. 3 m/s. ENERCON E-82, Nabhöhe 138 m (Rotorradius schwarz gestrichelt, Gesamthöhe rot gestrichelt)

Die Ergebnisse der maximalen Eisabwurfweiten beim Leerlauf für 3 m/s bzw. 5 m/s Windgeschwindigkeit in Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7 zeigen, dass der Würfel für alle untersuch-

ten WEA-Konfigurationen die größten Wurfweiten erzielt. Dies liegt u.a. an dem geringeren Luftwiderstand gegenüber flächigen Eisobjekten, er wird auf seiner Flugbahn weniger abgebremst. Die maximalen ermittelten Eisabwurfweiten für den Leerlauf liegen bei ca. 142 % der Gesamthöhe der entsprechenden WEA (siehe Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7).

### 2.2.3 Bewertung und Zusammenfassung der Eisabwurfweite für den Leerlauf

Im Winter können Vereisungen (Eisansatz) an WEA bei Temperaturen um 0°C vorkommen. Eisabfall von Rotorblättern tritt dann nach jeder Vereisungswetterlage (Eisansatz) mit einsetzendem Tauwetter auf. Abgeschaltete WEA unterscheiden sich hierbei nicht wesentlich von anderen hohen Objekten wie Brücken oder Strommasten /31/. Ist kein System zur Eiserkennung und Abschaltung der WEA bei Eisansatz installiert, so werden die gebildeten Eisobjekte im Betrieb abgeworfen (Eisabwurf) und erzielen wesentlich weitere Flugweiten als bei stehender WEA (Eisabfall).

Die Beurteilung der Gefährdung durch Eisabfall (stehende WEA) ist standortspezifisch zu bewerten und unter anderem abhängig von den gefährdeten Schutzobjekten sowie den Windbedingungen am Standort. Zur ersten groben Abschätzung der Eisabfallweite kann die folgende empirische Gleichung nach Seifert /30/ herangezogen werden:

$$\text{Eisabfallweite} = \text{Windgeschwindigkeit} \cdot \frac{\text{Rotordurchmesser} / 2 + \text{Nabenhöhe}}{15} \quad /30/$$

Für die Abschätzung der möglichen maximalen Eisabfallweite bietet sich das 99,9 % Quantil der Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort an. Diese Windgeschwindigkeit ist hinreichend konservativ, da sie zu 99,9 % nicht überschritten wird.

Auf Basis unserer derzeitigen Erfahrung mit standortspezifischen Untersuchungen (Risikobeurteilung Eisabfall) zum Eisabfall (>100 Projekte u.a. in Deutschland und Österreich) und den jeweils ermittelten maximalen Gefährdungsbereichen für Eisabfall, ist eine Gefährdung durch Eisabfall innerhalb eines Bereichs von ca. 75 % bis 170 % der Gesamthöhe der geplanten WEA möglich. Der Gefährdungsbereich für den Eisabfall ist standortspezifisch und unter anderem abhängig von den Windbedingungen (z. B. Schwachwind- oder Starkwindstandort) sowie dem geplanten WEA-Typ. Der maximal mögliche Gefährdungsbereich durch Eisabfall ist an Schwachwindstandorten kleiner als an Starkwindstandorten.

Für die untersuchten WEA ergeben sich die folgenden maximalen Eisabwurfweiten in Prozent der Gesamthöhe im Leerlauf zu (Drehzahl siehe Kapitel 2.2.1, Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s, siehe Kapitel 2.2.2, Tabelle 2.6 und Tabelle 2.7):

- E-44 – 142 %
- E-48 – 116 %
- E-53 – 105 %
- E-82 – 71 %
- E-115 – 71 %
- E-126 – 71 %
- E-141 – 68 %

Die maximalen Eisabwurfweiten für die E-44, die E-48 und die E-53 liegen oberhalb des ermittelten minimalen Gefährdungsbereichs für Eisabfall (ca. 75 % der Gesamthöhe, empirisch ermittelt). Für die E-82, die E-115 sowie die E-126 liegen die maximalen Eisabwurfweiten unterhalb des ermittelten minimalen Gefährdungsbereichs für Eisabfall.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des Gefährdungsbereichs (Eisabfall) der WEA im Winter grundsätzlich vorliegen kann, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) für die WEA-Typen E-44, E-48 sowie E-53 in Abhängigkeit des Standortes (Schwachwind- oder Starkwindstandort) eine mögliche zusätzliche Gefährdung dar.

Für die WEA E-82, E-115, E-126 sowie E-141, welche für die restlichen WEA der ENERCON Produktpalette /20/ als abdeckend angesehen werden können, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3 m/s bzw. 5 m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) keine unzulässige zusätzliche Gefährdung dar.

#### 2.2.4 Ergänzende Informationen zum Trudelbetrieb

Neben dem oben betrachteten Leerlauf (Startbetrieb, s. 2.2) gibt es z. Bsp. bei Windmangel, Störungen oder Eisansatzerkennung den sog. Trudelbetrieb bei geringer Drehzahl. Durch die langsame Bewegung (Trudeln) werden die Nabenlager weniger belastet als bei längerem Stillstand und eine Wiederaufnahme der Stromerzeugung bei ausreichendem Wind ist schneller möglich. Die Trudeldrehzahl ist abhängig vom Typ der Windenergieanlage und von der Windgeschwindigkeit.

- kein Wind = Rotor steht still
- schwacher Wind = niedrige Drehzahl bis max. Trudeldrehzahl
- viel Wind = max. Trudeldrehzahl

Der Blattwinkel beträgt im Trudelbetrieb mind. 60° (Fahnenstellung =92°) /16/.

Windenergieanlage	Max. Trudeldrehzahl
E-44, E-48, E-53	5,0 U/min
E-70 E4, E-82 E2, E-82 E3, E-82 E4, E-92, E-103 EP2	3,5 U/min
E-101, E-101 E2, E-115, E-115 E2	3,0 U/min
E-112, E-126	2,5 U/min
E-126 EP4, E-141 EP4	2,5 U/min

**Tabelle 2.8:** Maximale Trudeldrehzahl

Eisabfall von einer abgeschalteten (trudelnden) WEA lässt sich nicht verhindern. Der potentielle Gefährdungsradius kann im Rahmen einer standortspezifischen Risikoanalyse ermittelt werden.

## **3 Beschreibung des Eiserkennungsalgorithmus**

### **3.1 Programmablauf**

#### **3.1.1 Prüfung des Programmablaufs auf Plausibilität**

Der Programmablauf wurde auf Basis der Dokumente /4/, /22/ und /23/ geprüft und bewertet. Er ist in sich plausibel und kann durch den Vergleich von Leistungswerten und Blattwinkeln sowohl im Bereich der Nennleistung als auch darunter eine Vereisung erkennen.

Durch die Verwendung von Zählern wird verhindert, dass die Anlage während kurzer Vereisungsperioden, in denen die kritische Eisdicke nicht erreicht wird, sofort abschaltet. Die Anpassung der Leistungskurve an die Anlage vermeidet ein Abschalten bei zu starker Verschmutzung.

Da es bei Aktivierung der Einstellung „Automatischer Neustart während Vereisung“ zu einem Wiederanfahren einer vereisten Turbine und somit zu Eisabwurf kommen kann steht dieser Parameter als Default-Wert auf „aus“. Dadurch wird einen Neustart nur erlaubt, wenn eine Vereisung auf Grund der Vereisungsbedingungen nicht mehr möglich ist. Der Parameter „automatischer Neustart während Vereisung“ kann und darf erst nach schriftlicher Beauftragung durch den Betreiber und nur durch ENERCON-Mitarbeiter durch Eingabe eines persönlichen Servicecodes eingeschaltet werden.

#### **3.1.2 Prüfung von Lücken/Unsicherheiten im Programmablauf**

Für den Fall, dass eine Anlage längere Zeit stillsteht (auf Grund längerer Schwachwindperioden oder eines Defekts) und sich während dieser Zeit die Wetterbedingungen ändern, könnte es zu unbemerkten Vereisungen an der Anlage kommen. Dies geschieht von Erfahrungswerten ausgehend jedoch selten. Wenn die Anlage anschließend anfährt würden die Zähler der Eiserkennung mindestens 15 bzw. 30 min benötigen, um die Vereisung festzustellen und die Anlage zu stoppen. Um dem entgegen zu wirken und die Anlage bereits bei niedrigen Blattspitzengeschwindigkeiten zu stoppen wurde von ENERCON eine Funktion integriert, die die Zeit zur Erkennung von Vereisung nach Stillstandszeiten auf 3 min verringert /14/.

### **3.2 Bewertung des Messprinzips beim ENERCON Eiserkennungsverfahren**

Das Messprinzip des Kennlinienverfahrens basiert auf der Änderung der aerodynamischen Eigenschaften der Blattprofile durch Eisansatz, welcher sowohl die Oberflächenrauigkeit als auch die Geometrie des Blattes so verändert, dass es zu einem signifikanten Verlust an aerodynamischer Performance kommt. Theoretisch ist das Kennlinienverfahren in der Lage, bereits eine erhöhte Rauigkeit der Oberfläche durch Raureif zu erkennen. Diese Aussage wird gestützt durch Veröffentlichungen wie /43/, in welcher ein hoher Verlust an Auftrieb bereits bei leichter Vereisung messtechnisch gezeigt wird. Der einzustellende Schwellwert ist deshalb so zu wählen, dass Fehldetektionen und somit unnötige Abschaltungen der WEA vermieden werden.

### 3.3 Bewertung der Algorithmen beim Kennlinienverfahren

Der Kern des Eiserkennungssystems ist ein im Regler der Anlage implementierter Algorithmus, der gemessene Signale (Leistung, Blattwinkel, ...) verarbeitet und das Ergebnis mit einem Schwellwert vergleicht. Eine Überschreitung dieses Schwellwertes führt darauf hin zum Abschalten der Anlage.

Der Schwellwert kann dabei abhängig sein von den Eigenschaften der Anlage oder auch konstant sein und für jede Anlage den gleichen Wert annehmen. Im Fall des ENERCON Eiserkennungssystems liegt dieser Schwellwert für alle Anlagen bei 1.2 m/s Windgeschwindigkeit.

Die detaillierte Beschreibung des Eiserkennungsalgorithmus befindet sich in den Dokumenten /4/, /22/ und /23/.

Es ist zu indizieren, dass eine kritische Eisdicke, wie sie in Kapitel 2.1 ermittelt wurde, durch Überschreitung dieses Schwellwertes erkannt wird. Zu diesem Zweck wurde der Messbericht /1/ eingereicht.

#### 3.3.1 Messbericht Meteotest: „Performance of the ENERCON ice detection system“

Zentrales Dokument zur Bewertung des Eisdetektionsalgorithmus ist der von Meteotest verfasste Bericht zur Vermessung einer ENERCON E-82 unter Vereisungsbedingungen im Februar 2014, /1/. Der Bericht enthält Ergebnisse einer Vermessungsperiode von 18 Tagen (20.1.2014 - 7.2.2014).

Die Bewertung des Eiserkennungssystems basiert auf den folgenden Informationen.

**Ergebnisse zum Vereisungszustand der Blätter** (genannt „instrumental icing“): Von einer auf der Gondel installierten Kamera wurden in regelmäßigen Zeitabständen Fotos der Blätter aufgenommen, welche dem TÜV NORD vorliegen. Aus diesen Aufnahmen wurde auf den Vereisungszustand geschlossen.

**Ergebnisse zur atmosphärischen Vereisung** (genannt „meteorological icing“): Diese Ergebnisse zeigen Zeitintervalle an, in denen es aufgrund der externen Bedingungen zu einem Anwachsen der Eisdicke kommen kann.

#### Ergebnisse des Signals des Eiserkennungssystems.

#### 3.3.2 Beobachtungen und Bewertungen zum Messbericht Meteotest

In diesem Abschnitt werden folgende Punkte bewertet, die sich für die Prüfung als möglicherweise kritisch heraus stellten:

- Trefferquote des Eiserkennungssystems
- Vor-Start-Betrieb der Anlage (nicht leistungserzeugend) und Zeitverzögerung der Eiserkennung nach Zuschalten der Anlage
- Abdeckung verschiedener Betriebsbereiche
- Übereinstimmung der Beobachtungen aus der Messung mit der Spezifikation des Algorithmus.

Der Bericht zeigt, dass das Eisdetektionssystem mit einem Zeitanteil von 95 % Eis an den Rotorblättern erkannt hat.

Aus den Aufzeichnungen ist ferner der Zeitverzug bis zur Eiserkennung nach Übergang in den leistungserzeugenden Betrieb zu erkennen. In diesem Leerlauf-Betrieb dreht sich der Rotor abhängig vom Typ und Windgeschwindigkeit mit entsprechender Drehzahl, so dass das Risiko von Eisabwurf besteht. Laut Bericht /1/ beträgt dieser Zeitverzug bis zu 0.7 Stunden. Der Auswertungsalgorithmus benötigt eine Dauer von zwar nur mindestens 3 Minuten, bevor Eis erkannt wird, jedoch ist anzunehmen, dass die Anlage während eines großen Zeitanteils der bis zu 0.7 Stunden noch keine Leistung erzeugt.

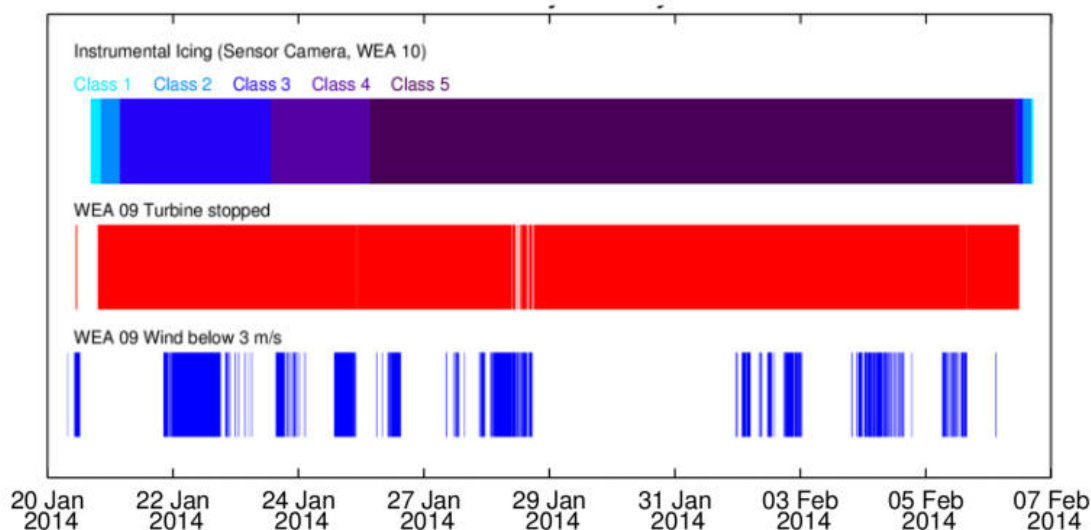
Aufgrund folgender Betrachtungen sind diese Phasen der Nicht-Detektierbarkeit als eher unkritisch einzustufen:

- Die Studie zur Abschätzung der Eisabwurfweite für den Leerlauf (Wind 3m/s, Drehzahl 5U/min) zeigt, dass die Eiswurfweite für diesen Modus geringer ist als die kritische Weite für Eisabfall.
- Üblicherweise steigt die Windgeschwindigkeit nicht derart schnell an, so dass nicht anzunehmen ist, dass Leerlauf der Anlage bei signifikant höheren Windgeschwindigkeiten auftritt.

Der dem TÜV NORD vorliegende Messbericht /1/ indiziert, dass das Eiserkennungssystem im Vollastbetrieb für Windgeschwindigkeiten über 12 m/s funktioniert und damit ebenfalls die Eiserkennung auf Basis des Pitchwinkels. Das gemessene Verhalten des Eiserkennungssystems stimmt mit dem spezifizierten Verhalten überein.

### 3.3.3 Messung an der Anlage „WEA 2“

Die Ergebnisse zur Messung an einer Anlage ohne RBH zeigen, dass die Anlage während der Vereisungszeit gestoppt ist (siehe Abbildung 5). Die Messung an der Anlage ohne RBH lässt sich aufgrund der ungenauen Daten schlechter für die Bewertung verwenden als die Messung an der Anlage mit RBH.



**Abbildung 5:** Übersicht der aufgezeichneten Signale während der gesamten Messperiode für WEA 09 ohne RBH.



## 3.4 Grenzen der Bewertungskette

### 3.4.1 Geschlossenheit der Bewertungskette und Schnittstellen

Für eine geschlossene Bewertungskette ist es notwendig, die kritische Eisdicke und die Einstellung des Eiserkennungssystems in Verbindung mit dem Messbericht zu bringen.

Die in Kapitel 2.1 ermittelte kritische Eisdicke für alle ENERCON Anlagen beträgt einerseits 13 mm. Auf der anderen Seite zeigt der Messbericht, dass für die Vereisungskategorie „light icing“ mit einer Zuverlässigkeit von 95 % Eis erkannt wird.

Ein zentraler Punkt der Bewertungskette ist nun, diese Informationen zu verknüpfen.

Wie Fotoaufnahmen der Blätter zeigen, ist nur eine geringe Eisdicke bei Vereisungskategorie „light icing“ vorhanden. Es wird dabei angenommen, dass die auf dem Foto sichtbare Eisdicke nur wenige Millimeter beträgt und geringer ist als die kritische Eisdicke von 13 mm. Ferner ist eine zentrale Annahme, dass die (subjektive) Klassifizierung der Fotoaufnahmen in „instrumental icing“ Kategorien für alle anderen Zeitpunkten nach den gleichen Maßstäben durchgeführt wurde.

Zusätzlich wurde von ENERCON bestätigt, dass die in den vermessenen Anlagen eingestellten Schwellwerte zu Eiserkennung denen der eingereichten Spezifikation entsprechen.

### 3.4.2 Repräsentativität der Messung

Die Messung wurde über einen Zeitraum von 10 Tagen durchgeführt und betraf eine Periode mit hoher Vereisung. Zwei Punkte an diesem Vorgehen sind kritisch zu sehen:

- Dauer der Messung: Die Dauer der Messung kann als repräsentativ angesehen werden.
- Vereisungsgrad: Für einen großen Teil der Messperiode lagen schwere Vereisungsbedingungen vor. Die hohe gemessene Zuverlässigkeit der Eiserkennung zeigt einerseits, dass schwere und damit auch Vereisungsbedingungen, die Schäden verursachen können, relativ zuverlässig erkannt werden. Auf der anderen Seite erreicht der Vereisungsgrad in dieser Periode selten eine so geringe Dicke, dass die Funktionsfähigkeit bei kritischer Vereisung indiziert werden kann. Wie Abbildung 5 zeigt, ist der Vereisungsgrad „light instrumental icing“ nur zu Beginn der Messperiode vorzufinden. Es wird allerdings angenommen, dass auch bei Wiederholung der Vereisungsbedingungen die Funktionsfähigkeit gewährleistet ist.

Ferner ist anzumerken, dass die Fotoaufnahmen der vereisten Blätter, welche dem TÜV NORD vorliegen, eine Vereisung der Blätter im Bereich der Hinterkante zeigen. Wie der Bericht /43/ anhand von Windkanalversuchen indiziert, führt eine Vereisung an der Blattvorderkante zu einer stärkeren Änderung der aerodynamischen Beiwerte als eine Vereisung in der Nähe der Hinterkante. Die in der Messung vorliegende Vereisung scheint somit schwerer detektierbar als eine Vereisung der Profilvorderkante.



### 3.4.3 Unsicherheiten der Messung

Die Unsicherheiten der Messung können als gering eingestuft werden, da die Leistung sehr präzise gemessen werden kann und die Messung der Windgeschwindigkeit ebenfalls bei vorliegenden Längen der Mittelwertbildung präzise ist.

### 3.4.4 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Anlagen

Darüber hinaus ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus der Messung, die lediglich an der E-82 durchgeführt wurden, auf andere Anlagen von ENERCON zu bewerten.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass auch bei höheren Rotordurchmessern bereits eine leichte Vereisung der Blätter zu einem derart hohen Verlust an erzeugter Leistung führen, dass auch hier die Detektierbarkeit gegeben ist. Auch wenn die Möglichkeit besteht, dass bei weiteren Anlagen von ENERCON bei leichter Vereisung einen etwas geringere Differenz der Leistung auftritt, scheint hier in Bezug auf die kritische Eisdicke ausreichend Reserve vorhanden zu sein.

## 4 Zusammenfassung und Ergebnis der Bewertung

Die kritische Eisdicke und damit einhergehend die kritische Detektionszeit für verschiedene ENERCON Anlagen wurde ermittelt. Die dünnste ermittelte kritische Eisdicke stellt sich bei der ENERCON E-44 (Nabenhöhe 45 m) zu 1,3 cm ein (siehe 2.1.2). Diese Eisdicke wurde für die weitere Bewertung als Maßstab herangezogen.

Sowohl die Prüfung des Algorithmus als auch die Analyse der Messergebnisse deuten darauf hin, dass der von ENERCON implementierte Eisdetektionsalgorithmus mit hinreichend hoher Zuverlässigkeit eine kritische Vereisung der Blätter erkennen kann.

Eine wichtige Voraussetzung für diese Aussage ist, dass die kritische Eisdicke größer ist als die in der Messung vorliegende Eisdicke für „light icing“. Diese Aussage kann lediglich über eine Bewertung der Fotoaufnahmen erfolgen. Obwohl der in den dem TÜV NORD vorliegenden Abbildungen erkennbare Vereisungsgrad eine geringere Eisdicke indiziert, als die kritische Eisdicke, liegt in diesem Schritt der Bewertungskette eine gewisse Unsicherheit. Das Kennlinienverfahren wird jedoch von ENERCON bereits seit 2003 in über 17000 Windenergieanlagen erfolgreich eingesetzt. Daher kann von einer hohen Betriebsbewährung ausgegangen werden /13/.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass eine Gefährdung durch Eisabfall innerhalb des Gefährdungsbereichs für Eisabfall von der WEA im Winter grundsätzlich vorliegen kann, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3m/s bzw. 5m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) für die WEA-Typen E-44, E-48 sowie E-53 in Abhängigkeit des Standortes (Schwachwind- oder Starkwindstandort) eine mögliche zusätzliche Gefährdung dar.

Für die WEA E-82, E-115, E-126, sowie E-141 welche für die restlichen WEA der ENERCON Produktpalette (s. Kap. 1.3) als abdeckend angesehen werden können, stellt der untersuchte Betrieb des Leerlaufs (Windgeschwindigkeit 3m/s bzw. 5m/s) gegenüber dem Eisabfall (nach jedem Eisansatz eintretendes Ereignis) keine unzulässige zusätzliche Gefährdung dar.

Der Eiserkennungsalgorithmus ist plausibel und stellt durch die doppelte Kontrolle über Leistungs- und Blattwinkelkennlinie eine sinnvolle Methode der Eiserkennung dar.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der von ENERCON verwendete Eiserkennungsalgorithmus in Bezug auf die Eisansatzerkennung dem Stand der Technik entspricht und viele Indizien dafür sprechen, dass mit vorliegenden Einstellungen bzw. mit vorliegenden Parametern eine Eisdicke erkannt wird, die geringer ist als die kritische.

## 5 Dokumente und Literaturverzeichnis

### 5.1 Geprüfte Dokumente

- /1/ Meteotest, Bericht zur Funktionsfähigkeit des Eiserkennungssystems für ENERCON  
"Performance of the ENERCON ice detection system"  
Dok.-Name: 140610\_report\_ice\_detection.pdf, Rev. 0.1,  
Datum: 06.06.2014
- /2/ ENERCON, Mitteilung  
"Antworten zum Status Report ENERCON ice detection TÜV-NORD Sys Tec GmbH & Co. KG vom 22.7.2014"  
Dok.-Name: D0342023-0.pdf, Rev. 0,  
Datum: 05.08.2014
- /3/ T. Wallenius (VTT Technical Research Center of Finland) and further authors:  
"The relationship between chord length and rime icing on wind turbines"
- /4/ ENERCON  
Technische Beschreibung, ENERCON Eiserkennung Programmablauf  
Dok.-Name: ENERCON Eiserkennung – Flussdiagramm.pdf  
Dok. Nr.: D0337087-2  
Datum: 06.08.2014
- /5/ ENERCON  
Technische Beschreibung ENERCON Eiserkennung Sensorik  
Dok.-Name: D0332210-0 Flussdiagramm.pdf  
Datum: 27.06.2014
- /6/ ENERCON  
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 11 Rotor (Leistungsmessung)  
Dok.-Name: 014\_0011\_Status\_CS48\_CS82\_CS101\_CS126.pdf, Revision: 004  
Datum: 26.06.2012
- /7/ ENERCON  
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 12 Anemometer (Leistungsmessung)  
Dok.-Name: 014\_0012\_Status\_CS48\_CS82.pdf, Revision: 004  
Datum: 26.06.2012
- /8/ ENERCON  
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 13 Rotor (Blattwinkelmessung)  
Dok.-Name: 014\_0013\_Status\_CS48\_CS82\_CS101\_CS126.pdf, Revision: 004  
Datum: 26.06.2012
- /9/ ENERCON  
Statusbeschreibung, 14 Eisansatzerkennung, 14 Anemometer (Blattwinkelmessung)  
Dok.-Name: 014\_0014\_Status\_CS48\_CS82.pdf, Revision: 003  
Datum: 26.06.2012

- /10/ ENERCON  
Funktionsbeschreibung Eisansatzsimulation  
Dok.-Name: Eisansatzsimulation\_Funktionsbeschreibung\_V1 2.pdf,  
Revision: 002  
Datum: 24.02.2014
- /11/ ENERCON: Mitteilung  
„Antworten zum Status Report ENERCON ice detection TÜV-NORD Sys Tec  
GmbH & Co. KG vom 22.07.2014“,  
Datum: 05.08.2014
- /12/ ENERCON: email  
Harald Wegmann, „AW: Anmerkungen zur ENERCON Eiserkennung“  
Datum: 09.09.2014
- /13/ ENERCON: Erklärung  
S. Janssen, H. Wegmann, Vermeidung von eiswurfbedingten Personenschäden  
durch das ENERCON Kennlinienverfahren  
Dok. Nr.: D0353125-0  
Datum: 14.10.2014
- /14/ ENERCON  
Technische Beschreibung ENERCON Windenergieanlagen Eisansatzerkennung  
Dok. Nr.: D0154407-8  
Datum: 10.01.2020
- /15/ ENERCON  
Betriebsanleitung ENERCON Windenergieanlage E-141 EP4 / 4200kW  
Dok. Nr.: D0496591-0  
Datum: 30.06.2016
- /16/ ENERCON  
Technische Beschreibung, Anhalten der Windenergieanlage  
Dok. Nr.: D0630561-0  
Datum: 25.10.2017
- /17/ ENERCON  
Technische Beschreibung, Übersicht Eisansatzerkennungssysteme  
Dok. Nr.: D0666949-2  
Datum: 24.10.2019
- /18/ VTT Technical Research Centre of Finland Ltd  
Customer Report, Pre-Certification of Labkotec LID-3300IP ice detector for wind  
energy applications  
Dok. Nr.: VTT-CR-03658-16  
Datum: 14.12.2016
- /19/ ENERCON GmbH. ENERCON Produktübersicht, Stand September 2016. Über-  
mittelt durch die ENERCON GmbH mit Email vom 02.03.2017.
- /20/ ENERCON GmbH. ENERCON Produktübersicht inkl. Drehzahlen zum Leerlauf-  
betrieb für die WEA E-44, E-48 sowie E-53. Übermittelt durch die ENERCON  
GmbH mit Email vom 15.09.2014.

- /21/ ENERCON GmbH. Übersicht „Zertifikate für Control and Safety Systeme ENERCON WEAs“, D0342021-0. Übermittelt durch die ENERCON GmbH mit Email vom 08.08.2014.
- /22/ ENERCON GmbH  
Portierung ENERCON Kennlinienverfahren PI-CS und EP5-CS-03  
Dok. Nr.: D02532142/0.0-de
- /23/ ENERCON GmbH  
Validierung ENERCON Eiskennlinienverfahren  
Dok. Nr.: D02549197/0.0

## 5.2 Literatur

### 5.2.1 Literatur zu Kapitel 2.1 und 2.2

- /24/ IEC 61400-1. Wind turbines – Part 1:Design requirements. Third Edition. 2005.
- /25/ Morgan, C. et al. Wind Turbine Icing and Public Safety - A Quantifiable Risk? Wind Energy Production in Cold Climates. Bristol. 1996.
- /26/ Cattin, R. et al. WIND TURBINE ICE THROW STUDIES IN THE SWISS ALPS. European Wind Energy Conference, Milan, Italy. 2007.
- /27/ Lautenschlager, F. Studie zum Einfluss der Windgeschwindigkeit auf das Ereignis Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Bachelorarbeit im Studiengang Umwelttechnik. 2012.
- /28/ Germanischer Lloyd. Vorschriften und Richtlinien. IV Industriedienste. Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen. Ausgabe 2010.
- /29/ Seifert, H. Betrieb von Windenergieanlagen unter Vereisungsbedingungen. St. Pölten. 1999.
- /30/ Seifert, H. et al. Risk analysis of ice throw from wind turbines, BOREAS VI. Pyhä, Finland. 2003.
- /31/ Seifert, H. Technische Ausrüstung von Windenergieanlagen an extremen Standorten. St. Poelten. 2002.
- /32/ Seifert, H. Technical requirements for rotor blades operating in cold climate. Wilhemshaven. 2003
- /33/ Makkonen, L. et. al. Modelling and prevention of ice accretion on wind turbines. Wind Engineering Volume 25, No. 1. 2001.
- /34/ Wallenius, T. et. al. The relationship between chord length and rime icing on wind turbines. Winterwind. 2008.
- /35/ Lehtomäki, V. et. al. IcedBlades - Modelling of ice accretion on rotor blades in a coupled wind turbine tool. Winterwind. 2012.
- /36/ Hudecz, A. et. al. Experimental investigation of ice accretion on wind turbine blades. Winterwind. 2013.

- /37/ Cattin, R. Alpine Test Site Guetsch, Handbuch und Fachtagung. Genossenschaft METEOTEST. Bern. 2008.
- /38/ Hauschild, J. et al. Monte-Carlo-Simulation zur probabilistischen Bewertung der Gefährdung durch Eisabwurf bei Windenergieanlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2146. 2011.
- /39/ Hauschild, J. et al. Ermittlung von Trefferwahrscheinlichkeiten in der Umgebung einer Windenergieanlage: Eisabfall, Rotorblattbruch und Turmversagen. Düsseldorf: VDI-Verlag, VDI-Bericht 2210. 2013.
- /40/ Green Book. Methods for the determination of possible damage – first edition. Voorburg 1989.
- /41/ Deutscher Wetterdienst. Online Wetterlexikon, Stand: September 2014. Offenbach. 2014.
- /42/ Karl-Heinrich Grote, Jörg Feldhusen (Hrsg.): DUBBEL – Taschenbuch für den Maschinenbau. 22. Auflage. Springer, Berlin/Heidelberg 2011
- /43/ NASA: Ice Accretions and Icing Effects for Modern Airfoils, April 2000
- /44/ DIBt. Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen – Fassung September 2013

## Herstellereklärung

### Hersteller:


ENERCON GmbH  
Dreekamp 5  
26605 Aurich  
Deutschland

### Gültigkeit Gutachten Wölfel-Eisansatzerkennung für E-160 EP5 E3

Das Gutachten zur Wölfel-Eisansatzerkennung (D0884253-2.0 – TÜV NORD Bericht-Nr. 8117075038 Rev. 2) wird zurzeit überarbeitet.


Die E-160 EP5 E3 wird in das Gutachten integriert.

Diese Herstellereklärung verfällt, wenn das Gutachten, in das die E-160 EP5 E3 integriert ist, freigegeben ist.

  
Harald Wegmann

Digital unterschrieben  
von Harald Wegmann  
Datum: 2021.06.08  
13:48:37 +02'00'

Ort, Datum Harald Wegmann  
Functional Safety Manager

  
Ingo Arendt

Digitally signed by  
00000250  
Date: 2021.06.11  
12:56:32 +02'00'

Ort, Datum Ingo Arendt  
Head of Unit Technical Support



## **Gutachten zu Risiken durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen am Standort Ostervesede**

**Referenz-Nummer:**

F2E-2021-TGS-018, Rev. 1 - ungekürzte Fassung

**Auftraggeber:**

naturwind gmbh  
Schelfstraße 35, 19055 Schwerin

**Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:**

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG  
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, [www.f2e.de](http://www.f2e.de)

**Verfasser:**

M.Sc. Rebecca Bode, Sachverständige,

Hamburg, 02.11.2021

**Gepprüft:**

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 02.11.2021

**Für weitere Auskünfte:**

Tel.: 040 53303680-0 Fax: 040 53303680-79

Rebecca Bode: [bode@f2e.de](mailto:bode@f2e.de) oder Dr. Thomas Hahm: [hahm@f2e.de](mailto:hahm@f2e.de)

**Urheber- und Nutzungsrecht:**

Urheber des Gutachtens ist die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erwirbt ein einfaches Nutzungsrecht entsprechend dem Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (UrhG). Das Nutzungsrecht kann nur mit Zustimmung des Urhebers übertragen werden. Veröffentlichung und Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien sind verboten. Eine Einsichtnahme der gekürzten Fassung des Gutachtens gemäß UVPG §23 (2) über die zentralen Internetportale von Bund und Ländern gemäß UVPG §20 Absatz (1) wird gestattet.





## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Grundlagen.....	4
2.1	Vereisung.....	4
2.2	Regelungen in den Normen zum Eiswurf- / Eisfallrisiko.....	5
2.3	Eintrittshäufigkeiten Bauteilversagen.....	7
2.4	Berechnung der Flugbahnen von Eisstücken.....	8
2.5	Vereisungshäufigkeiten.....	8
2.6	Berechnung der Flugbahn von Blattbruchstücken.....	10
2.7	Berechnung der Auftreffhäufigkeit nach Turmversagen.....	12
2.8	Grenzwerte und Risikobewertung.....	12
2.8.1	Grenzwerte individuelles Risiko.....	12
2.8.2	Grenzwerte kollektives Risiko.....	14
2.8.3	Risikobewertung.....	15
2.8.4	Risikomindernde Maßnahmen.....	17
2.8.5	Addition von Risiken.....	19
2.9	Gültigkeit der Ergebnisse.....	21
3	Eingangsdaten.....	22
3.1	Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	22
3.2	Winddaten am Standort.....	22
3.3	Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	24
3.4	Aufenthaltshäufigkeiten.....	26
3.5	Standortspezifische Grenzwerte für das kollektive Risiko.....	26
3.6	Vereisungsrelevante WEA-Systeme.....	27
3.6.1	WEA-interne Eiserkennungssysteme.....	27
3.6.2	Optionale Eiserkennungssysteme.....	27
3.6.3	Systeme zur Prävention und Enteisung.....	27
3.6.4	Betriebsführungssystem.....	27
3.7	Risikoreduzierende Maßnahmen.....	27
4	Durchgeführte Untersuchungen.....	28
4.1	Standortbesichtigung.....	28
4.2	Vereisungsbedingungen am Standort.....	28
4.3	Ermittlung der Gefährdungsbereiche.....	29
4.3.1	Bauteilversagen.....	29
4.3.2	Eiswurf und Eisfall.....	30
4.4	Betrachtung der Einzelrisiken.....	30
4.4.1	Eiswurf.....	31
4.4.2	Eisfall.....	31



4.4.3 Bauteilversagen.....	31
4.5 Bewertung des Gesamtrisikos.....	31
5 Weitere Maßnahmen.....	33
5.1 Eisfall.....	33
6 Zusammenfassung.....	34
7 Formelzeichen und Abkürzungen.....	35
8 Literaturangaben.....	36
Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Bauteilversagen.....	38
A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken.....	38
A.2 Turmversagen.....	39
A.3 Verlust der Gondel bzw. des Rotors.....	39
A.4 Schadenshäufigkeiten.....	39
Anhang B: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall.....	42
B.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten.....	42
B.2 Schadenshäufigkeiten.....	43

## 1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall ausgehend von sich in Betrieb befindlichen bzw. stillstehenden (trudelnden) Windenergieanlagen (WEA) zu betrachten. Weiterhin wird eine Gefährdung durch Rotorblattbruch, Turmversagen und Verlust der Gondel bzw. des Rotors an den WEA betrachtet.

Die Bewertung erfolgt auf Basis des Gesamtrisikos durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen.



## 2 Grundlagen

### 2.1 Vereisung

Abhängig von den Vereisungsbedingungen kann es auf dem Rotorblatt einer WEA zu starken Vereisungen kommen, in deren Folge eine Gefahr durch sich lösende bis zu mehreren Kilogramm schwere Eisstücke besteht.

Während des Betriebes der WEA erfahren diese Eisstücke einen deutlichen Anfangsimpuls durch das schnell rotierende Blatt. In diesem Fall wird daher von Eiswurf gesprochen. Während des Stillstandes der WEA trudelt diese mit deutlich niedrigeren Drehzahlen. In diesem Fall wird daher von Eisfall gesprochen. In beiden Fällen (Eiswurf und Eisfall) wirken auf die abgelösten Eisstücke durch den Wind weitere Kräfte. Bei Sturm und auch entlang eines abfallenden Geländes können so nennenswerte Flugweiten erreicht werden.

Vereisung tritt ein, wenn entweder unterkühlte Wassertropfen auf das Rotorblatt aufschlagen oder die Oberflächentemperatur des Rotorblattes unterhalb des Reifpunktes liegt und Wasserdampf auf der Oberfläche in Form von Reif sublimiert.

Im Temperaturbereich von ca. 0° bis -10°C bildet sich aus den Wassertropfen beim Auftreffen auf das Rotorblatt Eis. Bis etwa -4°C kommt es dabei aufgrund der verzögerten Eisbildung zu großflächiger Klareisbildung. Bei niedrigeren Temperaturen dominiert hingegen die Raueisbildung, mit geringer Haftoberfläche und einem milchigeren und rauherem Erscheinungsbild.

Unterhalb von -10°C können sich größere Ablagerungen von Raureif an den Profilkanten bilden. Der sich bei noch kälteren Temperaturen bildende Reif bildet typischerweise keine größeren Ablagerungen und spielt hinsichtlich einer Gefährdung durch Eisfall oder Eiswurf keine Rolle.

Grundsätzlich sollten bei der Gefährdung durch Eisfall bzw. Eiswurf daher zwischen großflächigen Eisplatten, die sich über einen großen Bereich der Profiltiefe ausbilden können, und schlankeren Eisstücken, die von der Profilkante abbrechen, unterschieden werden. Hinweise zu Form und Masse von Eisstücken finden sich z.B. in / 1.1/.

Aufgrund der extrem hohen Variabilität der Vereisungstage von Jahr zu Jahr werden langjährige Messungen benötigt, die möglichst auf einen klimatologischen Zeitraum, also 30 Jahre, zu beziehen sind /2.1/. Derart langjährige Messungen oder Beobachtungen liegen in Deutschland z.B. in Bodennähe für die Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes DWD vor. Messungen in Bodennähe unterliegen jedoch starken mikroskaligen Einflüssen, so dass sie bezüglich einer Vereisung schon wenige



hundert Meter entfernt nicht mehr aussagekräftig sein können, wenn sich dort z.B. aufgrund einer lokalen Senke kalte Luft sammelt. Diese mikroskaligen Effekte, die auf Nabenhöhe der Windenergieanlagen typischerweise keine Rolle mehr spielen, zu identifizieren und entsprechend zu korrigieren ist so gut wie nicht möglich. Hinzu kommt, dass die Daten der Klimastationen oft über mehr als 10km und auf andere Höhen über Meeressniveau übertragen werden müssen, so dass die Unsicherheiten in der Vorhersage der Vereisungstage nach dieser Methode insgesamt sehr groß sind.

Eine weitere mögliche Quelle stellen großflächige Vereisungskarten dar, wie sie z.B. in /1.1/ und /1.2/ dargestellt sind. Diese Karten liefern jedoch nur Hinweise und Tendenzen. In /1.2/ wird darauf hingewiesen, dass im Gegensatz zu den in den großflächigen Karten dargestellten Werten, die tatsächlichen Werte schon auf kurzen Distanzen stark schwanken können und die lokale Geländetopografie berücksichtigt werden sollte. Die daraus entstehenden Unterschiede in der Einschätzung der Vereisungstage können extrem groß sein, so dass diese Karten selbst zur Plausibilisierung lokaler Vereisungsdaten nur sehr bedingt geeignet sind.

Für Deutschland liegt mittlerweile eine hochaufgelöste Vereisungskarte des DWD vor, die die lokale Topografie berücksichtigt /1.8/. Sie stellt vor dem Hintergrund der dargestellten Zusammenhänge die zurzeit beste Datengrundlage zur Ermittlung der Vereisungstage für Standorte in Deutschland dar.

## **2.2 Regelungen in den Normen zum Eiswurf- / Eisfallrisiko**

In /1.1/ findet sich für Regionen mit einer hohen Vereisungshäufigkeit die Empfehlung, einen Mindestabstand von  $1,5 \cdot (\text{Nabenhöhe} + \text{Rotordurchmesser})$  zu gefährdeten Bereichen einzuhalten oder die Windenergieanlage bei Vereisungsbedingungen abzuschalten.

Der vorgeschlagene Mindestabstand von  $1,5 \cdot (\text{Nabenhöhe} + \text{Rotordurchmesser})$  fand in Deutschland Eingang in die Muster-Liste der technischen Baubestimmungen bzw. die Muster-Verwaltungsvorschrift Technischen Baubestimmungen /2.2/. Dort heißt es in der Anlage zur Richtlinie für Windenergieanlagen:

„Abstände zu Verkehrswegen und Gebäuden sind unbeschadet der Anforderungen aus anderen Rechtsbereichen wegen der Gefahr des Eisabwurfs einzuhalten, soweit eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit nicht auszuschließen ist. Abstände größer als  $1,5 \times (\text{Rotordurchmesser} + \text{Nabenhöhe})$  gelten im Allgemeinen in nicht besonders eisgefährdeten Regionen als ausreichend. In anderen Fällen ist die Stellungnahme eines Sachverständigen erforderlich.“

Soweit dieser Mindestabstand nicht eingehalten wird bzw. der Standort der Wind-



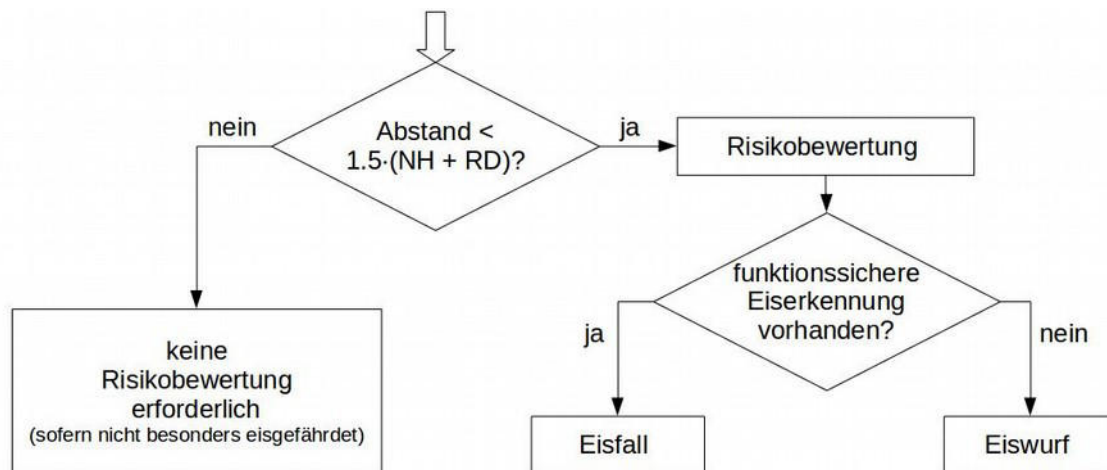
energieanlage in einer besonders eisgefährdeten Region liegt und der Mindestabstand daher keine Anwendung finden kann, ist also das Risiko durch Eiswurf standortspezifisch zu bewerten.

Weiterhin wird in /2.2/ ausgeführt, dass die gutachterliche Stellungnahme eines Sachverständigen zur Funktionssicherheit von Einrichtungen vorzulegen ist, durch die der Betrieb der Windenergieanlage bei Eisansatz sicher ausgeschlossen werden kann oder durch die ein Eisansatz verhindert werden kann. Dies hat immer dann zu erfolgen, wenn erforderliche Abstände wegen der Gefahr des Eisabwurfes nicht eingehalten werden.

Die gutachterliche Stellungnahme zur Funktionssicherheit von Einrichtungen zur Eiserkennung ist im Gegensatz zur gutachterlichen Stellungnahme bei Unterschreitung des in der Muster-Liste genannten Mindestabstandes von  $1,5 \cdot (\text{Nabenhöhe} + \text{Rotordurchmesser})$  kein standortspezifischer Nachweis, sondern ein entweder vom Hersteller des Eiserkennungssystems bzw. für die Implementierung in eine spezifische Windenergieanlage vom Hersteller der Windenergieanlage einmalig für den jeweiligen Typ in Auftrag gegebenes Gutachten. Diese Systeme schließen damit den Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz aus, können aber nicht grundsätzlich Eisansatz verhindern. Das für eine Verhinderung des Eisansatzes in /2.2/ genannte Beispiel einer Rotorblattheizung ist an dieser Stelle typischerweise nicht als Sicherheitssystem konzipiert. Der Betrieb einer Rotorblattheizung wird daher durch einzelne Hersteller für Standorte, in deren Umgebung eventuell durch Eiswurf eine erhebliche Gefährdung besteht, sogar ausgeschlossen.

Damit ergibt sich die Situation, dass auch bei einem vorhandenen System zur Eiserkennung mit Eisfall (Ablösen von Eisstücken von der stillstehenden bzw. trudelnden Windenergieanlage) zu rechnen ist und damit auch in diesen Fällen bei Unterschreitung des Mindestabstandes von  $1,5 \cdot (\text{Nabenhöhe} + \text{Rotordurchmesser})$  eine standortspezifische Bewertung des Risikos erfolgen sollte.

Der in der Abbildung 2.2.1 dargestellte Entscheidungsbaum für die Bewertung des Risikos durch Eiswurf und Eisfall fasst dies noch einmal zusammen.



**Abbildung 2.2.1:** Entscheidungsbaum für die Bewertung des Risikos durch Eiswurf und Eisfall.

Auf internationaler Ebene wurden durch die International Energy Agency (IEA) Empfehlungen für die Risikobewertung von Eisfall und Eiswurf erarbeitet /2.1/. Neben der Risikobewertung beschäftigen sich die Empfehlungen der IEA auch mit der mathematischen Modellierung und den eingehenden Randbedingungen. Die Empfehlungen der IEA /2.1/ werden im Folgenden berücksichtigt.

### 2.3 Eintrittshäufigkeiten Bauteilversagen

Die Eintrittshäufigkeiten für die Schadensfälle Rotorblattbruch, Turmversagen und Verlust der Gondel bzw. des Rotors werden typischerweise auf Basis bekannter Schadenereignisse eingeschätzt. Umfassende Untersuchungen hierzu finden sich z.B. in /1.11/. Hier werden folgende Versagenshäufigkeiten pro WEA pro Jahr genannt:

**Tabelle 2.3.1:** Versagenshäufigkeiten an WEA pro Anlage und Jahr sowie gemeldete und bestätigte Wurfweiten nach /1.11/.

Anlagenteil	Versagenshäufigkeiten pro WEA pro Jahr		Maximale Wurfweite
	Erwartungswert	Erwartungswert zuzüglich Sicherheitszuschlag	
Ganzes Blatt	$6.3 \cdot 10^{-4}$	$8.4 \cdot 10^{-4}$	150m
Turm	$5.8 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$	Gesamthöhe der WEA
Gondel oder Rotor	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$4.0 \cdot 10^{-5}$	Rotorradius





Die Erwartungswerte zuzüglich des Sicherheitszuschlages werden im Folgenden als Eintrittshäufigkeiten zugrunde gelegt.

Eine mögliche Ursache für ein Umstürzen der WEA, einen Absturz des Rotors, einen Absturz der Gondel oder den Verlust des ganzen bzw. Teilen eines Rotorblattes ist ein Brand der WEA. Das durch einen Brand hierdurch verursachte Risiko ist daher in der Risikobetrachtung für das Bauteilversagen enthalten und mit abgedeckt.

## **2.4 Berechnung der Flugbahnen von Eisstücken**

Für die Berechnung der Flugbahnen der Eisstücke wird basierend auf den Luftwiderstandsbeiwerten, der Geometrie und der Masse der Eisstücke die Lage des Eisstückes während der gesamten Bewegung erfasst und verfolgt, so dass sich im Vergleich zu einer rein ballistischen Flugbahn ein realistischeres Bild der Flugweiten ergibt und auch solche Flugbahnen erfasst werden, bei denen im Einzelfall aufgrund von Auftriebskräften am Eisstück sehr hohe Flugweiten erreicht werden.

Im Rahmen einer Monte-Carlo-Simulation werden dabei folgende Größen zufällig im Rahmen der am Standort zu erwartenden Wahrscheinlichkeitsverteilung variiert:

- Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe,
- Windrichtung,
- Position des Eisstückes auf dem Blatt,
- Geometrie und Dichte des Eisstückes,
- Drehzahl und Stellung des Rotors im Moment der Ablösung des Eisstückes.

Für das Geländemodell in der Umgebung der WEA werden Daten aus /1.5/ berücksichtigt. Eine eventuell vorhandene Schutzwirkung durch Bewuchs oder Gebäude wird dabei vernachlässigt.

Das Berechnungsmodell wurde im Rahmen der Entwicklung der IEA Recommendations /2.1/ anhand von Messkampagnen in realen Windparks validiert.

## **2.5 Vereisungshäufigkeiten**

Datengrundlage für die Bewertung der Vereisungshäufigkeit bildet die Vereisungskarte des Deutschen Wetterdienstes /1.8/. Für die Bestimmung der Häufigkeit atmosphärischer Vereisung wurden hierzu in /1.8/ verschiedene Wetter-Meldungen ausgewertet:

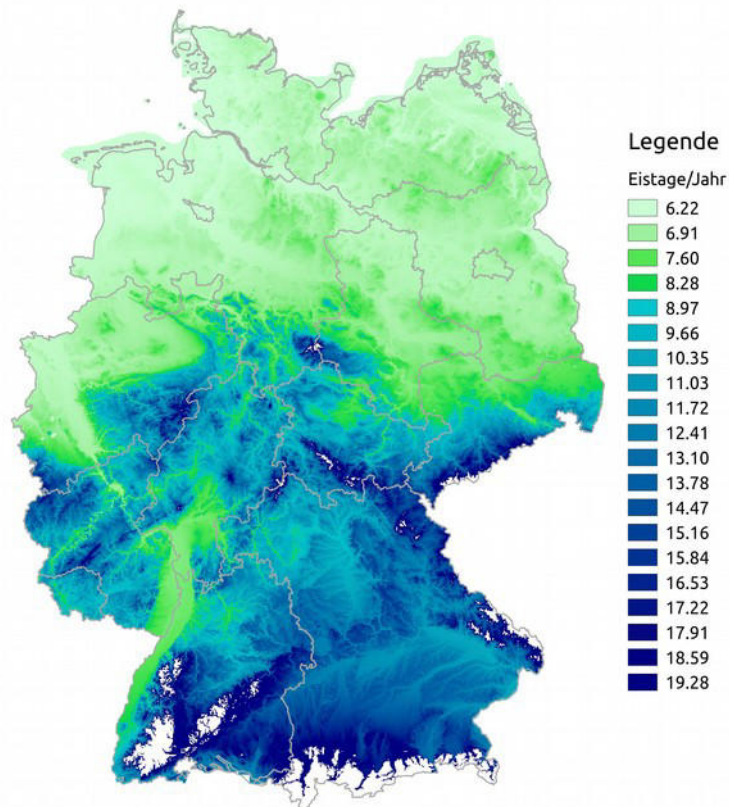
- Allgemeine Wetterereignisse:
  - leichter, mäßiger oder starker gefrierender Regen,



- leichter, mäßiger oder starker gefrierender Sprühregen,
- leichter, mäßiger oder starker Schneeregen,
- Eiskörner (gefrorene Regentropfen),
- Nebel mit Reifansatz
- Wetterereignisse bei Temperaturen  $\leq 0^\circ$  Celsius:
  - durchgehender oder unterbrochener leichter, mäßiger oder starker Sprühregen,
  - leichter, mäßiger oder starker Sprühregen mit Regen,
  - durchgehender oder unterbrochener leichter, mäßiger oder starker Regen,
  - Nebel oder Nebel mit Reifansatz
- Wetterereignisse bei Temperaturen  $> 0^\circ$  Celsius:
  - durchgehender oder unterbrochener leichter, mäßiger oder starker Schneefall,
  - leichter, mäßiger oder starker Schneeregen- oder Schneeschauer,
- Wetterereignisse der letzten Stunde aber nicht zur Beobachtungszeit:
  - Schneefall,
  - Schneeregen oder Eiskörner,
  - gefrierender Regen,
  - Schneeschauer bei Temperaturen  $> 0^\circ$  Celsius,
  - Nebel bei Temperaturen  $\leq 0^\circ$  Celsius.

Damit werden eine Vielzahl von Ereignissen erfasst, die nicht in allen Fällen zu einer signifikanten Vereisung bzw. in einigen Fällen zu keiner Vereisung der WEA führen. Gleichzeitig beziehen sich die Meldungen auf Beobachterhöhe und nicht auf die Nabenhöhe der WEA. Es wurden daher Vergleiche mit verschiedenen Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes durchgeführt. Hierzu wurden langjährige (30 Jahre) Messreihen zum Tagesmittel der relativen Luftfeuchte und der Lufttemperatur ausgewertet, um die Vereisungshäufigkeit auf Nabenhöhe zu bestimmen. Der Vergleich zeigt, dass die in /1.8/ auf Beobachterhöhe ermittelten Vereisungshäufigkeiten konservativere Ergebnisse liefern. Eine Umrechnung auf Nabenhöhe der WEA ist daher unter Berücksichtigung der in /1.8/ betrachteten Ereignisse nicht erforderlich.





*Abbildung 2.5.1: Eistage pro Jahr gemäß den Ergebnissen aus /1.8/ für Höhen bis 700m üNN.*

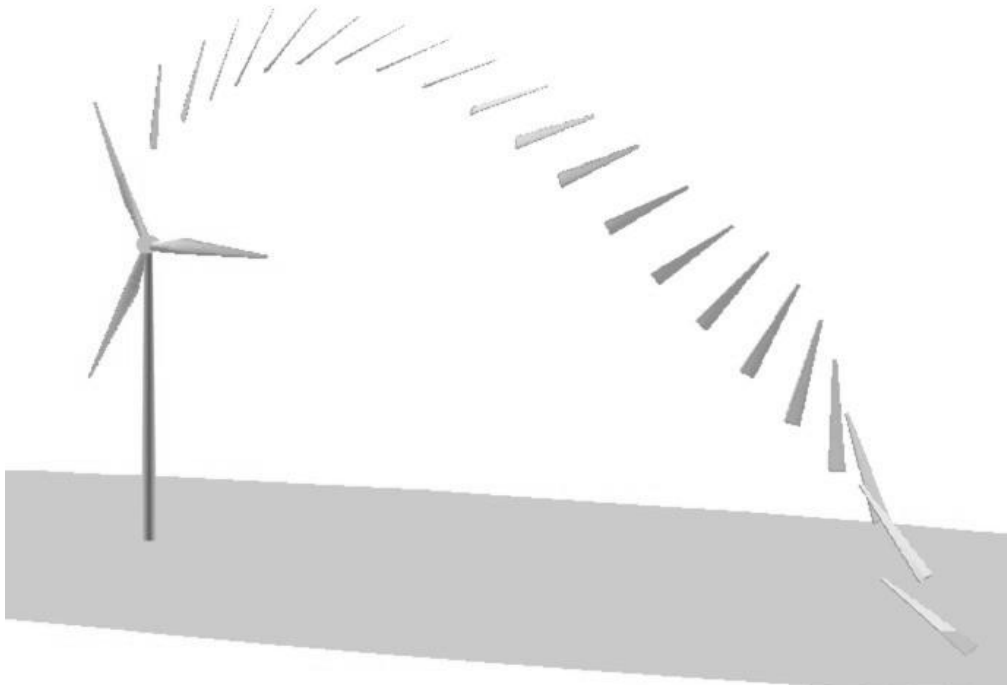
Gemäß /1.8/ sind für Standorte in großen Höhen besondere Betrachtungen erforderlich, wenn diese besonders exponiert oder besonders geschützt liegen. Entsprechende Orte wurden in /1.8/ daher gefiltert. Die niedrigste betroffene Höhe liegt bei ca. 700m üNN, so dass das hier verwendete Verfahren im Folgenden für Orte bis zu einer Höhe von 700m üNN ohne Korrekturen angewendet wird. In diesem Höhenbereich weist die in /1.8/ verwendete exponentielle Regression eine gute Annäherung an die Daten auf und wird daher hier verwendet. Abbildung 2.5.1 zeigt die hierauf beruhende Vereisungskarte für Deutschland.

## **2.6 Berechnung der Flugbahn von Blattbruchstücken**

Für die Berechnung der Flugbahnen der Blattbruchstücke wird basierend auf den Luftwiderstandsbeiwerten, der Geometrie und der Masse der Blattbruchstücke die Lage des Blattbruchstückes während der gesamten Bewegung erfasst und verfolgt, so dass sich im Vergleich zu einer rein ballistischen Flugbahn ein realistischeres Bild der Flugweiten ergibt und auch solche Flugbahnen erfasst werden, bei denen im Einzelfall aufgrund von Auftriebskräften am Blattbruchstück sehr hohe Flugweiten



erreicht werden. In Abbildung 2.6.1 ist eine beispielhafte Flugbahn visualisiert.



**Abbildung 2.6.1:** Beispielhafte Flugbahn eines Blattbruchstückes /1.12/.

Für die Berechnung werden für die Leistungsklasse der WEA repräsentative Daten zu Blattmassenverteilung, Geometrie, aerodynamischen Beiwerten (Auftrieb-, Schub- und Momentenbeiwerte an verschiedenen Blattschnitten) sowie Pitch- und Drehzahlverlauf unterstellt. Der Bruch wird in allen Fällen als glatter, plötzlicher Abriss modelliert, der während des Bruchvorgangs keine Energie verbraucht.

Im Unterschied zu /1.11/, wo stets der Abriss des ganzen Blattes unterstellt wird, werden auch größere Blattbruchstücke betrachtet, die tendenziell zu größeren Flugweiten und damit zu einer konservativen Betrachtungsweise führen.

In der Summe wurden ca. 5.5 Millionen Flugbahnen ausgewertet.

Folgende Randbedingungen wurden bei der Berechnung zugrunde gelegt:

- Abrisspunkte:
  - ganzes Blatt (50% der Ereignisse),
  - Bruchstücke von 90%, 70%, 50% und 30% der Blattlänge (jeweils 12.5% der Ereignisse).
- Windgeschwindigkeitsverteilung entsprechend Tabelle 3.2.1.



- Windrichtung in 1° Grad-Schritten gewichtet mit der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen entsprechend Tabelle 3.2.1.
- Rotorblattstellung zum Zeitpunkt des Abrisses: gleichverteilt in 2°-Schritten.
- Drehzahl der WEA: Abhängig von der Windgeschwindigkeit entsprechend Kennlinie der WEA (Überdrehzahl wird vernachlässigt, da dies als Ursache für Blattbruch vernachlässigbar ist /1.11/).
- Geländehöhe: für das Geländemodell in der Umgebung der WEA werden Daten aus /1.5/ berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Gesamthäufigkeit, dass ein Blattbruchstück auf einer Fläche von einem Quadratmeter in der Umgebung einschlägt, ist anschließend die Eintrittswahrscheinlichkeit von  $8.4 \cdot 10^{-4}$  für einen Blattbruch pro WEA und pro Jahr nach Tabelle 2.3.1 mit in Betracht zu ziehen.

## **2.7 Berechnung der Auftreffhäufigkeit nach Turmversagen**

Ermüdungsschäden an Türmen sind selten. Es kann angenommen werden, dass das Versagen eines Turmes aufgrund von Ermüdung durch die Bauüberwachung und wiederkehrenden Prüfungen weitestgehend ausgeschlossen werden kann /1.13/. Eine Gefährdung durch Turmversagen wird daher unterstellt, wenn es bei extremer Belastung (Sturm) aufgrund von Konstruktions-, Planungs- oder Wartungsfehlern zu einem Versagen des Turmes bzw. des Fundamentes kommt.

Aus den Abmaßen der WEA und der Lage der Schutzobjekte ergibt sich die Windrichtung aus denen die Starkwindlagen unterstellt werden müssen. Aus den Winddaten in Tabelle 3.2.1 werden anschließend die relativen Häufigkeiten für Starkwind mit einem 10-Minuten-Mittelwert von mehr als 16m/s auf Nabenhöhe für die jeweils zu betrachtenden Windrichtungen bestimmt. In Verbindung mit der Versagenshäufigkeit aus Tabelle 2.3.1 ergeben sich die Gesamthäufigkeiten.

## **2.8 Grenzwerte und Risikobewertung**

### **2.8.1 Grenzwerte individuelles Risiko**

Für Personenschäden findet sich in der Literatur das Konzept der minimalen endogenen Sterblichkeit (MEM) /2.3/. Die minimale endogene Sterblichkeit in entwickelten Ländern findet sich in der Gruppe der fünf bis 15jährigen. Sie liegt bei  $2 \cdot 10^{-4}$  Todesfällen pro Person und Jahr. Eine neue Technologie sollte diese endogene Sterblichkeit nicht nennenswert erhöhen. Es wird daher gefordert, dass die einer neuen Technologie verbundene Sterblichkeit nicht mehr als  $1 \cdot 10^{-5}$  Todesfälle pro Person

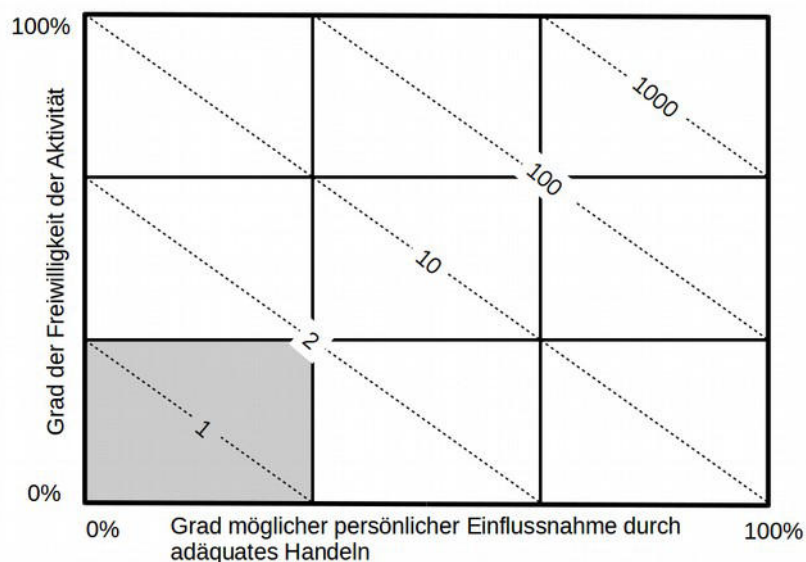


und Jahr betragen darf.

An anderer Stelle wird das gesellschaftlich akzeptierte Todesfallrisiko abhängig vom Grad der Freiwilligkeit und möglichen Einflussnahme auf die Handlung dargestellt / 1.7/. Die Akzeptanz sinkt, wenn zum einen die Möglichkeit sich durch adäquates Handeln zu schützen gegen Null geht und zum anderen sich die Person nicht freiwillig der Gefährdung aussetzt. Der unter diesen Randbedingungen definierte Grenzwert liegt bei  $1 \cdot 10^{-5}$  Todesfällen pro Person und Jahr und entspricht damit dem definierten MEM-Kriterium.

Betrachtet man das Risiko in der Nähe einer WEA durch Eisfall, Eiswurf oder Bauteilversagen tödlich zu verunglücken, begibt man sich in der Regel weder freiwillig in diese Lage noch hat man durch persönliche Einflussnahme eine Möglichkeit das Risiko nennenswert zu minimieren. Der Ansatz des MEM-Kriteriums ist daher an dieser Stelle gerechtfertigt und sinnvoll.

Damit liegt eine inakzeptable Gefährdung durch Eiswurf, Eisfall oder Bauteilver-sagen nur vor, wenn der so definierte Grenzwert überschritten wird.



**Abbildung 2.8.1.1:** Akzeptiertes Todesfallrisiko pro 100 000 Personen /1.7/. Grau hinterlegter Bereich entspricht dem MEM-Kriterium /2.3/.

Um hier eine konservative Vorgehensweise zu gewährleisten, werden bezüglich des Eisfall/Eiswurf-Risikos folgende Annahmen getroffen:

- Ein Eisstück, das eine ungeschützte Person außerhalb eines Fahrzeuges oder Gebäudes im Bereich des Kopfes trifft, führt immer zu einer schweren Verletzung oder zum Tode.
- Ein Eisstück, das direkt auf ein Fahrzeug im Bereich der Frontscheibe auftrifft,



führt stets zu einer schweren Verletzung oder zum Tode der Insassen. Die durchschnittliche Anzahl von Personen in einem Kraftfahrzeug ist statistisch erfasst /1.6/, so dass sich hieraus eine Anzahl betroffener Personen ableiten lässt.

Mit dem Ausschluss leichter Verletzungen, der fehlenden Unterscheidung zwischen schweren und tödlichen Verletzungen wird hier ein konservativer Ansatz gewählt. Eine weitere Differenzierung gestaltet sich an dieser Stelle sehr schwierig und lässt sich statistisch zurzeit nicht ausreichend absichern.

## 2.8.2 Grenzwerte kollektives Risiko

Bei der Bewertung von Schutzobjekten, bei denen sich eine größere Anzahl von Personen in der Nähe der WEA aufhält, wie es typischerweise bei Verkehrswegen der Fall ist, ist gemäß /2.1/ das daraus resultierende Kollektivrisiko zu bewerten. Entsprechende Grenzwerte für das Kollektivrisiko werden in /2.1/ definiert. Diese liegen für das Kollektivrisiko zwei Größenordnungen oberhalb des MEM-Kriteriums /2.1/ und somit bei  $1 \cdot 10^{-3}$  Todesfällen pro Jahr.

Gemäß /2.1/ kann für das Risiko im Straßenverkehr der Grenzwert für das kollektive Risiko basierend auf vorliegenden Unfallstatistiken ermittelt werden. Diese Vorgehensweise findet Anwendung für Straßen des Fernverkehrs und angeschlossene Straßen, die dem Durchgangsverkehr dienen. Dies sind in Deutschland die Bundesautobahnen, die Bundesstraßen und die Landesstraßen.

Das aktuelle Risiko ist dabei auf Basis der Todesfälle und der Schwerverletzten im Straßenverkehr zu ermitteln. Entsprechend der grundsätzlichen Idee des MEM-Kriteriums wird auch hier gefordert, dass ein bestehendes Risiko nicht nennenswert erhöht werden darf. Der anzusetzende Grenzwert für eine inakzeptable Gefährdung wird daher eine Größenordnung niedriger gewählt als das bestehende Risiko /2.1/.

Mit /1.3/ liegen entsprechende Unfallzahlen für Kfz-Benutzer gegliedert nach Straßenklasse, Ortslage und Unfallfolge vor. Tabelle 2.8.2.1 listet die entsprechenden absoluten Unfallzahlen pro Jahr für die betreffenden Straßengruppen.

**Tabelle 2.8.2.1:** Verunglückte Kfz-Benutzer gegliedert nach Straßenklasse pro Jahr /1.3/.

Straßenklasse	Getötete	Schwerverletzte
Bundesautobahn	344	5673
Bundesstraße (außerorts)	640	7742
Landesstraße (außerorts)	646	9210



In Verbindung mit der Inlandsfahrleistung auf den verschiedenen Straßenklassen lassen sich daraus die bestehenden Risiken bezogen auf die gefahrene Strecke bestimmen. Damit ist es möglich abhängig von der Verkehrsdichte straßenspezifische Risikowerte festzulegen. Die Streckenlänge ist dabei so festzulegen, dass jeweils nur eine WEA zur Gefährdung beitragen kann, um auch hier zu gewährleisten, dass das von jeder WEA ausgehende Risiko unabhängig bewertet werden kann. Werden die Risikogrenzwerte standortspezifisch bestimmt, so sind sie in Kapitel 3 dargestellt. Für alle anderen Straßenklassen kann der oben definierte Grenzwert für das Kollektivrisiko von  $1 \cdot 10^{-3}$  zugrunde gelegt werden.

### 2.8.3 Risikobewertung

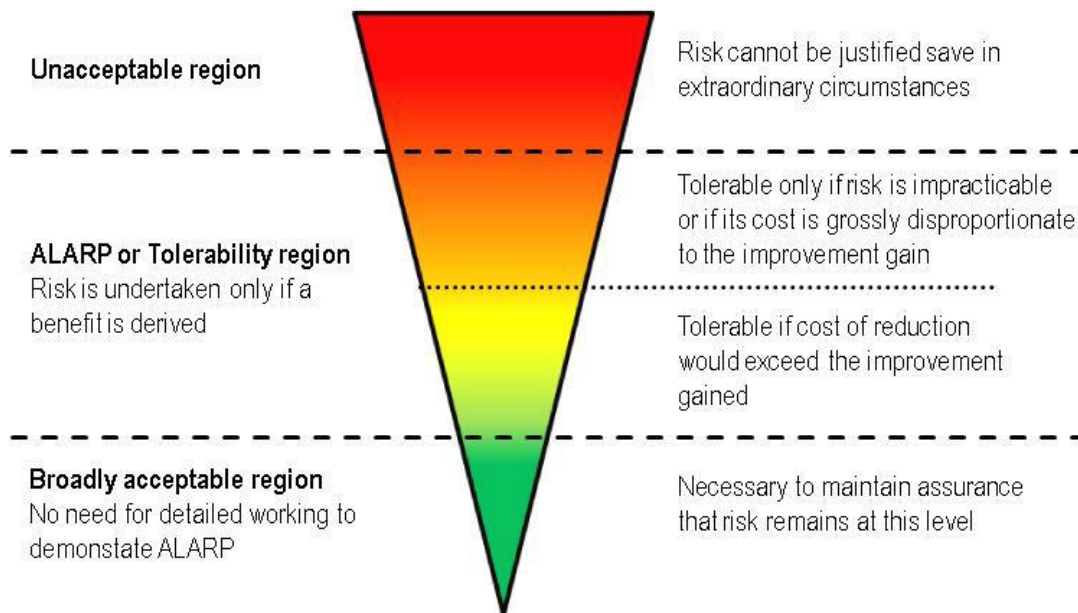
Im Folgenden wird in allen Fällen das individuelle Risiko und das kollektive Risiko ermittelt. Anschließend wird in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen das individuelle oder kollektive Risiko für eine Bewertung zugrunde gelegt. In Anlehnung an /2.1/ kann dabei folgende Aufteilung verwendet werden:

- Individuelles Risiko:
  - land- und forstwirtschaftlich genutzte Wege, Wanderwege, Fahrradwege und Straßen mit geringer Verkehrsdichte,
  - Objekte wie Scheunen, Hütten etc., die regelmäßig durch den Besitzer oder durch einen kleinen Personenkreis genutzt werden.
- Kollektives Risiko:
  - stark genutzte Gemeindestraßen, Kreisstraßen, Landesstraßen, Bundesstraßen und Autobahnen,
  - Objekte, die von generellem Interesse für die Öffentlichkeit sind und entsprechend durch eine größere Personengruppe genutzt werden (öffentliche Parkplätze, Industrieanlagen etc.).

Entsprechend dem Vorgehen der UK Health and Safety Executive (HSE) /1.9/ werden in /2.1/ unterhalb des inakzeptablen Bereiches weitere Risikobereiche definiert, die unterschiedliche Maßnahmen erfordern.

Das MEM-Kriterium definiert für das individuelle Risiko dabei die Obergrenze des sogenannten ALARP-Bereichs (As Low As Reasonably Practicable, s. Abbildung 2.8.3.1). Risiken die höher als das MEM-Kriterium liegen, sind demnach nicht akzeptabel.





**Abbildung 2.8.3.1:** ALARP-Prinzip /1.9/. Die Grenze zum roten inakzeptablen Bereich wird für das individuelle Risiko durch das MEM-Kriterium /2.3/ definiert.

Darunter folgt der ALARP-Bereich, welcher sich über zwei Größenordnungen der Risikowerte erstreckt.

Liegt das Risiko im oberen ALARP-Bereich, sollen Maßnahmen in Betracht gezogen werden, um das Risiko weiter zu reduzieren. Die Maßnahmen sollten sich an den bekannten und etablierten Techniken und den am Standort gegebenen Möglichkeiten orientieren.

Liegt das Risiko im unteren ALARP-Bereich, sind Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos in der Regel nicht erforderlich. Im Rahmen des Gutachtens werden entsprechend nur im Einzelfall Maßnahmen vorgeschlagen.

Liegt das Risiko mehr als zwei Größenordnungen unterhalb des MEM-Kriteriums, ist es ohne weitere Maßnahmen uneingeschränkt akzeptabel.

Bei der Bewertung der individuellen und kollektiven Risiken wird entsprechend zwischen den vier in Tabelle 2.8.3.1 genannten Bereichen unterschieden.

Da Sachschäden hier in ihrer Schwere gegenüber Personenschäden vernachlässigbar sind, werden diese in der Regel nicht weiter bewertet und in den Detailergebnissen im Anhang nicht dargestellt.



**Table 2.8.3.1: Risikobereiche für das individuelle und kollektive Risiko nach /2.1/.**

Individuelles Risiko	Kollektives Risiko	Bewertung
$> 10^{-5}$	$> 10^{-3}$ oder standortspezifisch	Roter Bereich: Risiko inakzeptabel - Maßnahmen sind einzuleiten und deren Nutzen nachzuweisen
$10^{-6}$ bis $10^{-5}$	$10^{-4}$ bis $10^{-3}$ oder standortspezifisch	Oranger Bereich: Risiko akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen
$10^{-7}$ bis $10^{-6}$	$10^{-5}$ bis $10^{-4}$ oder standortspezifisch	Gelber Bereich: Risiko akzeptabel - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich
$< 10^{-7}$	$< 10^{-5}$ oder standortspezifisch	Grüner Bereich: Risiko uneingeschränkt akzeptabel

Das individuelle Risiko ist in der Regel für stark genutzte überregionale Verkehrswege nicht maßgeblich. Eine Ausnahme bilden hier die überregionalen Bahnstrecken, da hier nur wenige individuelle Personen, nämlich die Lokführer, gefährdet sind. Da es nicht praktikabel oder nicht möglich ist, das individuelle Risiko entlang einer gesamten Bahnstrecke zu bewerten, werden in diesem Fall die Grenzwerte für das individuelle Risiko um den Faktor zehn erniedrigt.

## 2.8.4 Risikomindernde Maßnahmen

Liegt das Risiko im inakzeptablen roten Bereich, ist ein Nachweis erforderlich, dass das Risiko durch geeignete Maßnahmen in den ALARP-Bereich verschoben werden kann. Gemäß /2.1/ kommen insbesondere folgende Maßnahmen in Frage, um das Risiko in den ALARP-Bereich zu verschieben:

- Fixierung der Azimut-Position des Rotors der WEA nach Abschaltung durch die Eiserkennung,
- Installation eines Systems zur Erkennung von strukturellen Schäden an den Rotorblättern ,
- Wahl eines kleineren WEA-Typs,
- Verschiebung der WEA,
- Verlegung des betroffenen Schutzobjektes.

In allen Fällen ist durch eine erneute Berechnung nachzuweisen, dass das Risiko anschließend nicht mehr im roten inakzeptablen Bereich liegt /2.1/.





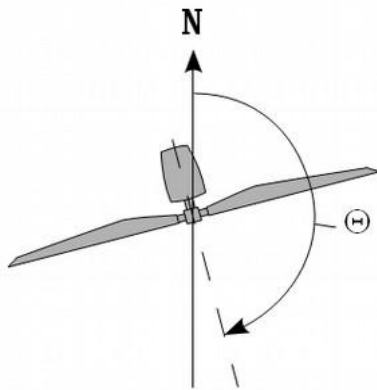
Liegt das Risiko im oberen orangen ALARP-Bereich sind etablierte risikomindernde Maßnahmen umzusetzen. Zu den empfohlenen Maßnahmen zählen:

- Fixierung der Azimut-Position des Rotors der WEA nach Abschaltung durch die Eiserkennung, wenn dies aufgrund der Lage der Schutzobjekte möglich und sinnvoll ist,
- Einsatz einer funktionssicheren Eiserkennung,
- Warnschilder,
- Warnleuchten, die mit dem Eiserkennungssystem der WEA gekoppelt sind,
- Physische Barrieren wie Schranken sofern dies vor Ort umgesetzt werden kann.

Die Auswahl der Maßnahmen sollte sich an den bekannten und etablierten Techniken und den am Standort gegebenen Möglichkeiten orientieren.

Auf Freiflächen mit kontrolliertem und beschränktem Zutritt wie z.B. einem Betriebsgelände kann das Risiko durch Eisfall und Eiswurf auch durch Aufenthaltsbeschränkungen oder das Tragen eines Schutzhelmes reduziert werden. Bei der Quantifizierung dieser Maßnahmen kann gemäß /1.14/ davon ausgegangen werden, dass das Tragen eines Schutzhelmes mit einem Chancenverhältnis (odds ratio) für schwere und tödliche Kopfverletzungen von etwa  $\frac{1}{3}$  verbunden ist.

Bei einer Fixierung der Azimut-Position wird die WEA nach einer Abschaltung durch die Eiserkennung in eine fixe Azimut-Position gefahren. Damit kann die Trefferhäufigkeit von Eisstücken auf die Schutzobjekte verringert werden, indem im Falle eines Verkehrsweges z.B. der Rotor parallel zum Fahrbahnrand ausgerichtet wird. Die Azimut-Position wird dabei definiert über den Azimutwinkel zwischen geografisch Nord und der Achsenrichtung der WEA.



*Abbildung 2.8.4.1: Definition des Azimutwinkels  $\Theta$ .*

## 2.8.5 Addition von Risiken

Die Risiken durch Eiswurf/Eisfall und durch Bauteilversagen sind grundsätzlich zu addieren und gemeinsam zu betrachten und zu bewerten.

Entlang von Verkehrswegen kann weiterhin in der Regel nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne oder alle Personen mehrere WEA passieren und damit einer Summe von Risiken ausgesetzt sind.

Dies spielt für den überregionalen Verkehr keine Rolle, da hier mit Grenzwerten verglichen wird, die auf die gefahrene Strecke bezogen sind (siehe Kapitel 2.8.2).

WEA an Autobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen können daher stets einzeln betrachtet werden. Hier sind benachbarte WEA nur dann von Interesse, wenn sich die Gefährdungsbereiche der zu bewertenden WEA und einer benachbarten WEA überlappen. Dasselbe gilt für die Risikobewertung von Schäden an Erdöl- und Erdgasleitungen, da auch hier die Grenzwerte auf die Leitungslänge bezogen werden.

Bei der Bewertung von Verkehrswegen des regionalen bzw. des Nahverkehrs werden die akzeptierten Grenzwerte für das individuelle bzw. kollektive Risiko herangezogen. Für Kreisstraßen, Gemeindestraßen und sonstige Verkehrswege ist daher zu prüfen, ob die übliche Nutzung dazu führt, dass die Gefährdungsbereiche mehrerer WEA passiert werden. Diese Betrachtung kann aufgrund des regionalen Charakters dieser Verkehrswege dabei auf den zu betrachtenden Windpark beschränkt werden.

In einem verzweigten Verkehrswegenetz innerhalb eines Windparks gibt es eine Vielzahl von Routen, die nicht alle betrachtet werden können. Es ist hier ausreichend eine repräsentative Route zu wählen, die eine konservative Bewertung gewährleistet.














In der Praxis kann für Verkehrswege des regionalen bzw. des Nahverkehrs folgendermaßen vorgegangen werden:

- Im ersten Schritt werden die Risiken ausgehend von jeder einzelnen WEA und bezogen auf die verschiedenen Schutzobjekte ermittelt. Wenn einzelne Risiken hier bereits im oberen ALARP-Bereich liegen, werden die entsprechenden Maßnahmen abgeleitet (siehe auch Kapitel 2.8.3)
- Im zweiten Schritt wird eine repräsentative Route festgelegt und hierfür das Risiko ermittelt und bewertet. Eventuell sind hieraus weitere risikomindernde Maßnahmen abzuleiten.
- Auf den zweiten Schritt kann verzichtet werden, wenn die Summe der Risiken über alle WEA die jeweils anzusetzenden Grenzwerte für das individuelle bzw. kollektive Risiko nicht übersteigen.

Es ergeben sich folgende Begriffe und Symbole, die im Zusammenhang mit WEA im Gutachten verwendet werden:

**Tabelle 2.8.5.1: Erläuterung der verwendeten Begriffe und Symbole.**

Erläuterung der Begriffe		
	„geplante WEA“	WEA, deren Risiko im Rahmen des Gutachtens zu bewerten ist.
 	„benachbarte WEA“	Alle weiteren WEA, die vom Auftraggeber übermittelt wurden. Es ist dabei unerheblich, ob sich einzelne benachbarte WEA ebenfalls in Planung oder Bau befinden. Entscheidend ist die Windparkkonfiguration, die als Vorbelastung für die geplanten WEA zu unterstellen ist. Alle benachbarten WEA sind in Tabelle 3.3.1 aufgeführt.
	„Referenzpunkt der Winddaten“	Jeweiliger Standort, auf dessen Koordinaten sich die verwendeten Winddaten beziehen.
Farbliche Zuordnung der Symbole		
	Zu bewertende WEA: geplante WEA, deren Risiko bewertet wird.	
	Zu berücksichtigende WEA: Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA Einfluss auf das Risiko im Gefährdungsbereich der zu bewertenden WEA (  ) nehmen bzw. aufgrund der Nutzung der Schutzobjekte innerhalb des Windparks potentiell zu berücksichtigen sind.	
	Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA und ihrer Lage im Windpark nicht bei der Bewertung des Risikos der zu bewertenden WEA (  ) zu berücksichtigen sind. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in Abbildung 3.3.1 dargestellt.	
	Referenzpunkte der Winddaten.	
	Referenzpunkt der Winddaten auf den Koordinaten einer (in diesem Fall geplanten) WEA.	



## **2.9 Gültigkeit der Ergebnisse**

Die für die Risikobewertung erforderliche Häufigkeitsverteilung von Eis- und Blattbruchstücken in der Umgebung der WEA hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind neben den WEA-Daten (Koordinaten, WEA-Typ, Nabenhöhe, Nennleistung, Betriebsweise der WEA sowie Vorhandensein und Art des Eiserkennungssystems), die Windbedingungen (Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, sektorielle Weibull-Parameter der Windgeschwindigkeitsverteilung) und die Vereisungsbedingungen am Standort. Mit letzterem sind neben der Anzahl der Vereisungstage auch die zu erwartende Eismasse auf dem Rotorblatt sowie die Massen- und Formverteilung der sich lösenden Eisstücke gemeint. Weiterhin ist die Risikobewertung abhängig von der Aufenthaltshäufigkeit und dem Bewegungsmuster von Personen im Umfeld der WEA.

Jede Änderung dieser Randbedingungen erfordert daher eine Neubewertung des Risikos.

Für alle Parameter, die einen Einfluss auf die Auftreffpunkte der Eis- oder Blattbruchstücke haben, lassen sich keine pauschalen konservativen Werte festlegen / 1/. Dies bedeutet insbesondere, dass eine Reduzierung der Nabenhöhe nicht automatisch zu einer Reduzierung des Risikos führt. Auch sind die Ergebnisse eines Risikos durch Eiswurf nicht unbedingt abdeckend für das Risiko durch Eisfall von derselben WEA am selben Standort.

In den Berechnungen zum Risiko durch Eisfall wird angenommen, dass die gesamte auf den Rotorblättern im Vereisungsfall unterstellte Eismasse in Form von Eisstücken abgeworfen wird. Zurzeit liegen keine Erkenntnisse vor, wie die Verteilung von Eisstückgrößen oder deren Dichte durch eine Rotorblattheizung beeinflusst wird. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass ein beheiztes Rotorblatt weniger stark vereist. Die Berechnungen decken daher den Einsatz einer Rotorblattheizung im Trudelnbetrieb bzw. bei Stillstand der WEA und manuellem Wiederanfahren ab.



## **3 Eingangsdaten**

### **3.1 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte**

Am Standort Ostervesede (Niedersachsen) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA 1 - 5).

Am Standort befinden sich keine weiteren benachbarten WEA.

In der Umgebung befinden sich die Kreisstraße K236, die Straße „Siedlung Großenwede“ und mehrere öffentlich gewidmete Wege, welche im Rahmen dieser Untersuchung vom Auftraggeber als Schutzobjekte definiert wurden (siehe Abbildung 3.3.1).

Die WEA 1 - 5 liegen in unmittelbarer Nähe zu den Schutzobjekten und werden im Folgenden hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen betrachtet.

### **3.2 Winddaten am Standort**

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden /3.1, 3.2/ entnommen und sind in Tabelle 3.2.1 dargestellt.

Die vorliegenden Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung am Standort Ostervesede vorausgesetzt.



**Tabelle 3.2.1:** Winddaten am Standort (*f*: Häufigkeit der Windrichtung; *A* und *k*: Skalen- und Formparameter der Weibull-Verteilung).






Wind-Datensatz Nr.	Parameter	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Koordinaten	
														Höhe über Grund [m]	
1	A [m/s]	5.75	5.68	6.34	7.44	7.60	7.27	7.60	8.07	8.94	8.35	7.41	6.25	Höhe über Grund [m]	125
	k [-]	2.506	2.346	2.791	3.010	3.154	2.971	2.822	2.939	2.682	2.498	2.389	2.447	Ost	32540846
	f (100% = 1)	0.046	0.042	0.054	0.072	0.08	0.061	0.068	0.119	0.168	0.127	0.094	0.069	Nord	5887412
2	A [m/s]	6.26	6.19	6.90	8.08	8.31	7.96	8.29	8.82	9.74	9.07	8.06	6.84	Höhe über Grund [m]	166
	k [-]	2.463	2.303	2.74	2.951	3.100	2.916	2.771	2.889	2.635	2.451	2.342	2.404	Ost	32540846
	f (100% = 1)	0.046	0.042	0.054	0.072	0.080	0.061	0.068	0.119	0.168	0.127	0.094	0.069	Nord	5887412

Die Parameter der Weibull-Verteilung werden genutzt, um die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen auf die jeweiligen Windgeschwindigkeiten umzurechnen. Die Weibull-Parameter werden dabei auf die jeweilige Nabenhöhe der WEA umgerechnet.



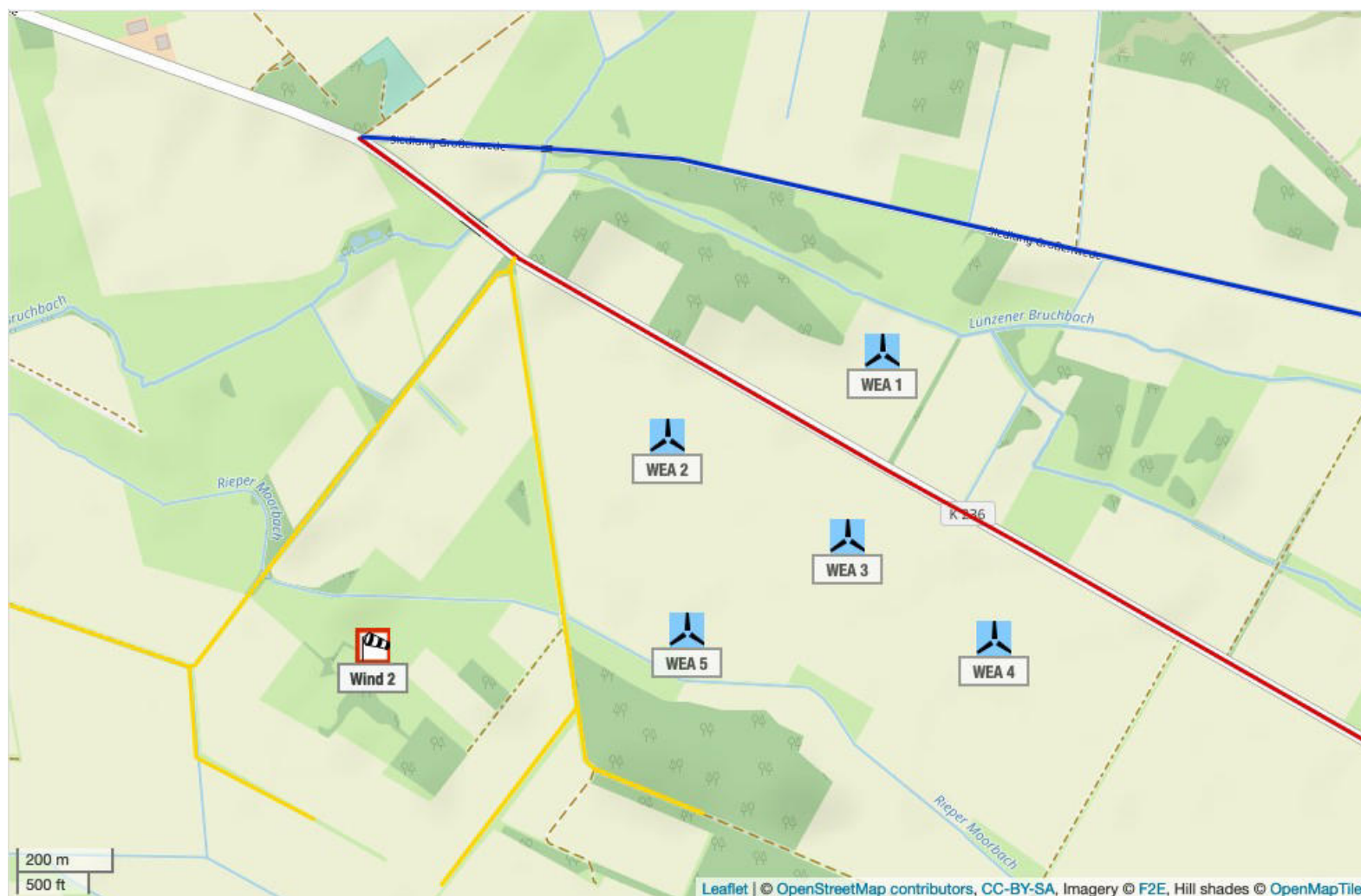
### 3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

Tabelle 3.3.1: Windparkkonfiguration.

	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Koordinaten (UTM ETRS89/ WGS84 Zone 32)		Hersteller	WEA-Typ	P <sub>N</sub> [MW]	NH [m]	RD [m]	Wind- Datensatz Nr.
			East	North						
	1	WEA1	32541888	5888025	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	119.9	160.0	1
	2	WEA2	32541449	5887847	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	166.6	160.0	2
	3	WEA3	32541822	5887644	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	166.6	160.0	2
	4	WEA4	32542125	5887436	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	119.9	160.0	1
	5	WEA5	32541493	5887449	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	166.6	160.0	2

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Lfd. Nr.) in Tabelle 3.3.1.





**Abbildung 3.3.1:**  
Lage des Standortes,  
Karte /1.4/.

-  zu bewertende WEA
-  zu berücksichtigende WEA
-  weitere WEA
-  Referenzpunkte der Winddaten

**Schutzobjekte:**

- rot: Kreisstraße K236
- blau: Straße „Siedlung Großenwede“
- gelb: öffentlich gewidmete Wege





### 3.4 Aufenthaltshäufigkeiten

Für die Kreisstraße K236 zwischen Ostervesede und Lünzen liegt eine Verkehrszählung /3.3/ für den Zeitraum vom 15.03.2017 bis zum 22.03.2017 vor. Der Mittelwert der PKW-ähnlichen und LKW-ähnlichen Fahrzeuge über diesen Zeitraum beträgt 784 Kfz pro Tag. Im Folgenden wird von 800 Kfz pro Tag ausgegangen.

Auf der Kreisstraße K236 existiert keine Geschwindigkeitsbegrenzung. Aufgrund von Straßenbeschaffenheit und -verlauf wird davon ausgegangen, dass die mittlere Fahrzeug-Geschwindigkeit bei 100 Kilometern pro Stunde liegt.

Aufgrund der angenommenen Verkehrsbelastung und Fahrzeug-Geschwindigkeit erfolgt die Risikobewertung für die Kreisstraße K236 analog zu den Straßen des überregionalen Verkehrs (siehe Kapitel 2.8.5), da unter den genannten Annahmen davon ausgegangen werden kann, dass der akzeptierten Grenzwert für das kollektive Risiko im vorliegenden Fall repräsentativ für das auf die gefahrene Strecke bezogene Risiko ist.

Auf der Straße „Siedlung Großenwede“ wird im Folgenden von einem Verkehrsaufkommen von 50 Kfz und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 50 Personen pro Tag ausgegangen. Aufgrund von Wegbeschaffenheit und -verlauf wird hier von einer mittleren Fahrzeug-Geschwindigkeit von 50 Kilometern pro Stunde ausgegangen.

Auf den angrenzenden öffentlich gewidmeten Wegen wird im Folgenden von einem Verkehrsaufkommen von 50 Kfz und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 50 Personen pro Tag ausgegangen. Aufgrund von Wegbeschaffenheit und -verlauf wird hier von einer mittleren Fahrzeug-Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Stunde ausgegangen.

### 3.5 Standortspezifische Grenzwerte für das kollektive Risiko

Für Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen, wurden die Grenzwerte auf Basis des vorhandenen Unfallrisikos bestimmt (siehe Kapitel 2.8.2). Tabelle 3.5.1 listet die ermittelten oberen Grenzwerte für ein inakzeptables Risiko. Die weiteren Risikobereiche gemäß Tabelle 2.8.3.1 liegen jeweils eine Zehnerpotenz niedriger und sind nicht extra aufgeführt.

*Tabelle 3.5.1: Spezifische obere Risikogrenzwerte für das kollektive Risiko.*

Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko Grenzwert für ein inakzeptables Risiko
Kreisstraße K236	$> 9.75 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 1025 Jahren)



### **3.6 Vereisungsrelevante WEA-Systeme**

#### **3.6.1 WEA-interne Eiserkennungssysteme**

Für die WEA 1 – 5 ist das ENERCON-Eiserkennungssystem nach dem Leistungskurvenverfahren noch in der Entwicklung /3.4/.

#### **3.6.2 Optionale Eiserkennungssysteme**

Die WEA 1 – 5 sind mit einem externen zertifizierten Eisansatzerkennungssystem der Firma Wölfel /3.5/ und zusätzlich mit einer Rotorblattenteisung entsprechend /3.6/ ausgestattet.

Die Bewertung dieser Systeme ist nicht Bestandteil des Gutachtens. Gemäß /3.7/ liegen für die Systeme der Firma Wölfel Nachweise vor, dass eine hinreichend sensible Erkennung von kritischen Eisansatz gegeben ist.

In /3.7/ wurde die Kompatibilität von IDD.Blade mit den ENERCON Betriebsführungs- und Sicherheitssystemen geprüft. Danach ist IDD.Blade als Eiserkennungssystem für Windenergieanlagen des Herstellers ENERCON geeignet.

#### **3.6.3 Systeme zur Prävention und Enteisung**

Die WEA 1 - 5 sind zusätzlich mit einer Rotorblattheizung entsprechend /3.6/ ausgestattet.

Der Betrieb der Rotorblattheizung während des Betriebes der WEA wurde nicht betrachtet.

Die Berechnungen decken den Einsatz der Rotorblattheizung im Trudelbetrieb bzw. bei Stillstand der WEA und manuellem Wiederanfahren ab.

#### **3.6.4 Betriebsführungssystem**

Nach einer Abschaltung durch das Eiserkennungssystem geht die WEA in einen definierten Zustand. Angaben zu Trudeldrehzahlen, Blattstellung und Windnachführung der WEA wurden gemäß /3.8/ umgesetzt.

### **3.7 Risikoreduzierende Maßnahmen**

Die im Anhang B dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine risikoreduzierenden Maßnahmen.



## 4 Durchgeführte Untersuchungen

### 4.1 Standortbesichtigung

Eine Standortbesichtigung ist im Rahmen der Bewertung des Risikos durch Eiswurf, Eisfall und Bauteilversagen nicht durch ein Regelwerk vorgeschrieben oder geregelt. Eine Standortbesichtigung empfiehlt sich, wenn die Situation vor Ort nicht ausreichend bekannt ist.

Im Rahmen der Standortbesichtigung werden die potentiellen Schutzobjekte vor Ort dokumentiert und besichtigt. Es werden Informationen zur Beschaffenheit der Schutzobjekte, wie z.B. Straßenbelag, Geschwindigkeitsbeschränkungen und Fahrverboten bei Verkehrswegen aufgenommen.

Die Standortbesichtigung dient nicht zur Bestimmung der Aufenthaltshäufigkeit von Personen in oder auf Schutzobjekten, der Bestimmung der Frequentierung von Verkehrswegen, der Bestimmung der Klimatologie des Standortes oder der Verifizierung der Windparkkonfiguration.

Die Schutzobjekte vor Ort wurden vom Auftraggeber festgelegt (siehe Kapitel 3.1). Aufgrund der vorhandenen Datenlage zu den Schutzobjekten wurde auf eine Standortbesichtigung verzichtet.

### 4.2 Vereisungsbedingungen am Standort

Die Vereisungshäufigkeit am Standort wurde entsprechend Kapitel 2.5 ermittelt.

Die Anzahl der insgesamt am Standort zu unterstellenden Eisstücke ergibt sich aus der Anzahl der Eisstücke pro Vereisungsereignis und der Anzahl der Vereisungstage.

Für die WEA ist konservativ davon auszugehen, dass es an allen Vereisungstagen zu einer vollständigen Vereisung der WEA kommt.

In Übereinstimmung mit /2.1/ kann die insgesamt zu berücksichtigende Eismasse abhängig von der Blattgeometrie anhand des Vereisungslastfalles der internationalen Richtlinie für WEA /2.4/ definiert werden. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Masse der Eisstücke lässt sich daraus eine Anzahl Eisstücke pro Vereisung ableiten. Die Anzahl ist dabei unabhängig davon, ob ein Risiko durch Eisfall oder Eiswurf betrachtet wird.

Damit ergeben sich am Standort Ostervesede die in Tabelle 4.2.1 dargestellten Vereisungsbedingungen.



**Tabelle 4.2.1:** Vereisungsbedingungen am Standort Ostervesede .

Lfd. Nr. WEA	Vereisungshäufigkeit [%]	Vereisungstage pro Jahr	Eisstücke pro Jahr pro WEA
1 - 5	1.8	6.6	1258

## 4.3 Ermittlung der Gefährdungsbereiche

### 4.3.1 Bauteilversagen

Wurfweiten für Blattbruchstücke erreichen deutlich größere Werte als die in Tabelle 2.3.1 angegebene Wurfweite für das ganze Blatt. Als potentieller Gefahrenbereich kann hierfür in guter Näherung der potentielle Gefahrenbereich für Eiswurf vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) angenommen werden.

Damit ergeben sich für die einzelnen WEA die in Tabelle 4.3.1.1 aufgeführten zu betrachtenden Schutzobjekte und zugehörige Abstände.

**Tabelle 4.3.1.1:** Zu betrachtende Schutzobjekte und Abstände zu den Schutzobjekten.

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Schutzobjekt	Abstand [m]
	1	WEA1	Kreisstraße K236	ca. 202
			Straße „Siedlung Großenwede“	ca. 290
	2	WEA2	Kreisstraße K236	ca. 170
			öffentlich gewidmete Wege	ca. 260
	3	WEA3	Kreisstraße K236	ca. 165
	4	WEA4	Kreisstraße K236	ca. 199
	5	WEA5	Kreisstraße K236	ca. 488
			öffentlich gewidmete Wege	ca. 250

Zusätzlich zum Risiko durch Blattbruchstücke ergeben sich aus dem Vergleich mit den Wurfweiten entsprechend Tabelle 2.3.1 für die weiteren zu berücksichtigenden Risiken der zu bewertenden WEA folgende Aussagen:






- Eine Gefährdung durch Verlust der Gondel bzw. des Rotors ist nicht zu unterstellen.
- Eine Gefährdung durch ein Versagen des Turmes ist für die WEA 2, 3 und 4 zu unterstellen.



### 4.3.2 Eiswurf und Eisfall

Auf Grundlage der potentiellen Gefahrenbereiche der WEA vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) ergeben sich für die einzelnen WEA die in Tabelle 4.3.2.1 aufgeführten zu betrachtenden Schutzobjekte.

*Tabelle 4.3.2.1: Zu betrachtende Schutzobjekte.*

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Potentieller Gefährdungsbereich	
			Radius [m]	Schutzobjekte im Bereich
	1	WEA 1	419.9	Kreisstraße K236
				Straße „Siedlung Großenwede“
	2	WEA 2	489.9	Kreisstraße K236
				öffentlich gewidmete Wege
	3	WEA 3	489.9	Kreisstraße K236
	4	WEA4	419.9	Kreisstraße K236
	5	WEA5	489.9	Kreisstraße K236
				öffentlich gewidmete Wege

Wenn die Gefährdungsbereiche einzelner WEA sich überlappen (siehe Kapitel 2.8.5), wird das Risiko der relevanten benachbarten WEA entsprechend berücksichtigt.

### 4.4 Betrachtung der Einzelrisiken

Aus der in Kapitel 4.2 ermittelten Gesamtanzahl von Eisstücken, der Windgeschwindigkeitsverteilung gemäß Tabelle 3.2.1, der Geometrie und Betriebsweise der WEA sowie der Topografie am Standort, ergeben sich in der Umgebung einer WEA für jeden Punkt unterschiedliche Trefferhäufigkeiten von Eisstücken. Hinzu kommen die Trefferhäufigkeiten durch Bauteilversagen. Auf Basis dieser Trefferhäufigkeiten ist die spezifische Gefährdung von Personen abhängig von der Wegstrecke, den die Personen bzw. die mit Personen besetzten Fahrzeuge in der Umgebung der WEA nehmen, der Geschwindigkeit, mit der sie sich fortbewegen sowie der Häufigkeit, mit der ein bestimmter Weg genommen wird. Verkehrswege und andere Freiflächen bzw. Gebäude, die keinen Schutz gegen Eisstücke bieten, unterscheiden sich beim Risiko durch Eiswurf oder Eisfall nur dahingehend, dass die Wegstrecke bei Verkehrswegen deutlich vorgegeben ist, während sie bei Freiflächen typischerweise durch eine allgemeine Aufenthaltshäufigkeit ersetzt wird.

Eine spezifische Gefährdung lässt sich daher nicht in Form einer Gefährdungskarte



in der Umgebung einer WEA darstellen, da für jeden Punkt in der Umgebung einer WEA theoretisch unendlich viele Szenarien denkbar sind. Die Gefährdung ist daher stets in Bezug zu einem Schutzobjekt unter Berücksichtigung der genannten Randbedingungen zu ermitteln.

#### **4.4.1 Eiswurf**

Aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung kann der Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz weitestgehend ausgeschlossen werden. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu betrachten.

#### **4.4.2 Eisfall**

Eine Gefährdung durch Eisfall für Personen in der Umgebung der WEA 1 - 5 ist standortspezifisch zu betrachten, auch wenn eines der in Kapitel 3.6 genannten Systeme zur Eiserkennung zu diesem Zweck genutzt wird.

Entsprechend Kapitel 2.2 besteht auch bei vorhandener funktionssicherer Eiserkennung stets ein Risiko durch Eisfall in der Umgebung einer WEA. Dieses Risiko ist daher standortspezifisch zu bewerten.

Details zu den Berechnungen sind im Anhang B dargestellt.

#### **4.4.3 Bauteilversagen**

Ein Risiko durch Bauteilversagen ist stets entsprechend der in Kapitel 2.3 aufgeführten Eintrittshäufigkeiten zu unterstellen.

Details zu den Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.

### **4.5 Bewertung des Gesamtrisikos**

Mit den Detailergebnissen für Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen ergeben sich am Standort Ostervesede folgende Gesamtrisiken:



**Tabelle 4.5.1:** Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Ostervesede.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	$6.63 \cdot 10^{-7}$ <b>(einmal in 1.5 Mio. Jahren)</b>	$1.11 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.9 Mrd. Jahren)
	Straße „Siedlung Großenwede“	$4.15 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 24 Mio. Jahren)	$1.11 \cdot 10^{-9}$ <b>(einmal in 0.9 Mrd. Jahren)</b>
2	Kreisstraße K236	$4.28 \cdot 10^{-4}$ <b>(einmal in 2300 Jahren)</b>	$7.14 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.4 Mio. Jahren)
	öffentlich gewidmete Wege	$1.02 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 9.7 Mio. Jahren)	$3.11 \cdot 10^{-9}$ <b>(einmal in 0.3 Mrd. Jahren)</b>
3	Kreisstraße K236	$5.31 \cdot 10^{-4}$ <b>(einmal in 1800 Jahren)</b>	$8.84 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.1 Mio. Jahren)
4	Kreisstraße K236	$2.32 \cdot 10^{-5}$ <b>(einmal in 43 000 Jahren)</b>	$3.87 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 25.8 Mio. Jahren)
5	Kreisstraße K236	---*	---
	öffentlich gewidmete Wege	$2.29 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 4.3 Mio. Jahren)	$7.06 \cdot 10^{-9}$ <b>(einmal in 0.1 Mrd. Jahren)</b>

\*: Die Ergebnisse zeigen, dass das Schutzobjekt nicht von Eisstücken der WEA getroffen wird.

Wie in Kapitel 2.8 dargestellt, erfolgt die Bewertung des individuellen und kollektiven Risikos durch eine Einteilung in vier Bereiche von inakzeptabel bis uneingeschränkt akzeptabel. Damit ergeben sich bezogen auf die betrachteten WEA und Schutzobjekte folgende Ergebnisse für das Gesamtrisiko. Es ist in Tabelle 4.5.2 jeweils nur das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko dargestellt (siehe Kapitel 2.8).





**Tabelle 4.5.2:** Gefährdung durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen am Standort Ostervesede.

Gesamtbewertung der einzelnen WEA			
Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	uneingeschränkt akzeptabel	---
	Straße „Siedlung Großenwede“	---	uneingeschränkt akzeptabel
2	Kreisstraße K236	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	---
	öffentlich gewidmete Wege	---	uneingeschränkt akzeptabel
3	Kreisstraße K236	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	---
4	Kreisstraße K236	akzeptabel - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich	---
5	Kreisstraße K236	---*	---
	öffentlich gewidmete Wege	---	uneingeschränkt akzeptabel

\*: Die Ergebnisse zeigen, dass das Schutzobjekt nicht von Eisstücken der WEA getroffen wird.

Die Gefährdungsbereiche der WEA überschneiden sich nur für das Risiko durch Blattbruchstücke. Die daraus entstehenden Beiträge zum Risiko der jeweils benachbarten WEA sind vernachlässigbar. Eine weitere Betrachtung addierter Risiken (siehe auch Kapitel 2.8.5) ist daher nicht erforderlich.

Da die Risiken der WEA 2 und 5 bezüglich der öffentlich gewidmeten Wege im uneingeschränkt akzeptablen Bereich liegen, ist eine weitere Betrachtung addierter Risiken (siehe auch Kapitel 2.8.5) innerhalb des Windparks nicht erforderlich.

## 5 Weitere Maßnahmen

Liegt das Risiko im inakzeptablen oder im oberen orangen ALARP-Bereich sind etablierte risikomindernde Maßnahmen umzusetzen (siehe Kapitel 2.8.4).

### 5.1 Eisfall

Da die für die WEA 2 und 3 ermittelten Risiken bezüglich des Schutzobjektes Kreisstraße K236 im oberen ALARP-Bereich liegen, sind weitere Maßnahmen in Betracht





zu ziehen, um das Risiko noch weiter zu senken.

Für die WEA 2 und 3 empfehlen wir nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz den Rotor der WEA so auszurichten, dass möglichst wenige Eisstücke die Kreisstraße K236 treffen und entsprechend den Vorgaben des Herstellers die Azimutposition des Rotors bis zur maximal möglichen Windgeschwindigkeit beizubehalten. Die erforderlichen Werte sind in Tabelle 5.1.1 dargestellt (zur Definition des Azimutwinkels siehe Abbildung 2.8.4.1).

*Tabelle 5.1.1: Empfohlene Azimut-Positionen nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz für den Rotor der WEA.*

Lfd. Nr. WEA	Azimutwinkel bei Stillstand [°]
2	209
3	209

## 6 Zusammenfassung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall sowie durch Bauteilversagen ausgehend von den stillstehenden (trudelnden) bzw. in Betrieb befindlichen WEA zu betrachten und zu bewerten.

Als Schutzobjekte wurden die Kreisstraße K236, die Straße „Siedlung Großenwede“ und mehrere öffentlich gewidmete Wege in der Nachbarschaft der WEA definiert.

Eine mögliche Ursache für ein Umstürzen der WEA, einen Absturz des Rotors, einen Absturz der Gondel oder den Verlust des ganzen bzw. Teilen eines Rotorblattes ist ein Brand der WEA. Das durch einen Brand hierdurch verursachte Risiko ist daher in der Risikobetrachtung für das Bauteilversagen enthalten und mit abgedeckt.

Die abschließende Bewertung des Gesamtrisikos ist in Tabelle 6.1 für alle zu bewertenden WEA bezüglich der relevanten Schutzobjekte dargestellt. Zu berücksichtigende benachbarte WEA (siehe Kapitel 2.8.5) sind in der Bewertung enthalten. Schutzobjekte, die von der jeweiligen WEA nicht getroffen werden, sind in Tabelle 6.1 nicht aufgeführt.

Maßnahmen, die in den Berechnungen berücksichtigt wurden und entsprechend für die getroffene Aussage unabdingbar sind, werden in der Spalte „Maßnahmen - erforderlich“ aufgeführt. Maßnahmen, die umgesetzt werden sollten, weil das Risiko im oberen ALARP-Bereich (siehe Kapitel 2.8) liegt, werden in der Spalte „Maßnahmen - empfohlen“ aufgeführt.



**Tabelle 6.1:** Bewertung des Gesamtrisikos.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Risiko- bewertung	Maßnahmen	
			erforderlich	empfohlen
1	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	---
	Straße „Siedlung Großenwede“	akzeptabel	---	---
2	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	Kapitel 5
	öffentlich gewidmete Wege	akzeptabel	---	---
3	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	Kapitel 5
4	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	---
5	öffentlich gewidmete Wege	akzeptabel	---	---

## 7 Formelzeichen und Abkürzungen

WEA	Windenergieanlage	
RD	Rotordurchmesser	
NH	Nabenhöhe	
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989	
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion	
WGS84	World Geodetic System 1984	
ü. NN	über Normalnull	
MEM	Minimale endogen Sterblichkeit	
Kfz	Kraftfahrzeug	
A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
h	Höhe	[m]
$\Theta$	Azimutwinkel	[°]



## 8 Literaturangaben

### Allgemein

- /1.1/ Bengt Tammelin et. al.; Wind Energy Production in Cold climates; Meteorological publications No.41, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland, February 2000.
- /1.2/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind Task 19, State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates, Edition October 2012.
- /1.3/ Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; Verkehrstechnik Heft V 291, Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko; Bergisch Gladbach, August 2017.
- /1.4/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /1.5/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2006, Hole-filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT).
- /1.6/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Mobilität in Deutschland 2008; Ergebnisbericht, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends; Bonn und Berlin, Februar 2010.
- /1.7/ Schneider J., Schlatter H. P.; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure; 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- /1.8/ Wichura, B., 2013. The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icing, Proceedings of the 15th International Workshop On Atmospheric Icing Of Structures (IWAIS 2013). Compusult Ltd., St. John's, Newfoundland and Labrador, September 8-11, 2013, pp. 303-309.
- /1.9/ HSE, Health and safety Executive. (n.d.); Risk analyses or 'predictive' aspects of comah safety reports guidance for explosives sites - The COMAH Safety Report Process for Predictive Assessment of Explosives Sites, downloaded 2014-08-21; Retrieved from <http://www.hse.gov.uk/comah/>
- /1.10/ Bredesen, R. E.; Kjeller Vindteknikk AS; Icethrow from wind turbines - Assessment and risk management; IEA Wind Task 19, Präsentation bei der Winterwind International Wind Energy Conference, Åre 2017.
- /1.11/ C. J. Faasen, P. A. L. Franck, A. M. H. W. Taxis; Handboek Risicozonering Windturbines, Eindversie, 3e geactualiseerde versie mei 2013, en Herziene versie 3.1 september 2014; Nederland.
- /1.12/ T. Hahm, J. Kröning; Rotorblattversagen – Gefährdungsanalyse für die Umgebung von Windenergieanlagen; 6. Deutsche Windenergie-Konferenz DEWEK 2002.
- /1.13/ J. Kesenheimer; Grundlagenforschung zur Restnutzungsdauer von Windenergieanlagen; Technische Universität Hamburg-Harburg, April 2003.
- /1.14/ Oliver J., Creighton P.; Road Accidents, Bicycle injuries and helmet use: a systematic review and meta-analysis; International Journal of Epidemiology, 2017, 278-292.

### Normen



- /2.1/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind TCP Task 19; International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; October 2018.
- /2.2/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen - Fassung Juni 2015 bzw. Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, Ausgabe 2017/1.
- /2.3/ DIN EN 50126; Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); Deutsches Institut für Normung e.V., März 2000.
- /2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).
- /2.5/ DNV GL AS; Certification of condition monitoring, DNVGL-SE-0439:2016-06; June 2016.
- /2.6/ DIN EN ISO 16708; Erdöl- und Erdgasindustrie - Rohrleitungstransportsysteme - Zuverlässigkeitsanalysen (ISO 16708:2006); Englische Fassung EN ISO 16708:2006; Deutsches Institut für Normung e.V., August 2006.
- /2.7/ ISO 13623; Petroleum and natural gas industries - Pipeline transportation systems; ISO 13623:2000(E), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

### Projektspezifisch

- /3.1/ Ingenieurbüro PLANKon; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK – Hauptergebnis für 125 m NH, Projekt: Ostervesede; 13.12.2018; Oldenburg, Deutschland.
- /3.2/ Ingenieurbüro PLANKon; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK – Hauptergebnis für 166 m NH, Projekt: Ostervesede; 13.12.2018; Oldenburg, Deutschland.
- /3.3/ Landkreis Rotenburg (Wümme); PDF-Auswertung Zählstelle 734 Ostervesede - Lünzen; 23.03.2017; Rotenburg (Wümme), Deutschland.
- /3.4/ ENERCON GmbH; Technische Beschreibung ENERCON Eisansatzerkennung ENERCON Windenergieanlagen; Dokument D0154407-10.1, 2021-02-23.
- /3.5/ ENERCON GmbH; Technische Beschreibung, Eisansatzerkennung, ENERCON Windenergieanlagen EP5; Dokument D0827984/3.1-de, 25.01.2021.
- /3.6/ ENERCON PRODUKTPORTFOLIO TECHNISCHE DATENBLÄTTER (STAND 05/2019).
- /3.7/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG; Gutachten zur Einbindung eines Eiserkennungssystems Typ IDD.Blade in Lagerwey / ENERCON Windenergieanlagen. TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117075038 Rev. 2; Hamburg, 03.12.2020.
- /3.8/ ENERCON GmbH; Angaben zum Trudelbetrieb nach Abschaltung wegen Eisansatz; per E-Mail am 18.12.2019, 06.01.2020, 04.03.2020 und 22.6.2021



## Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Bauteilversagen

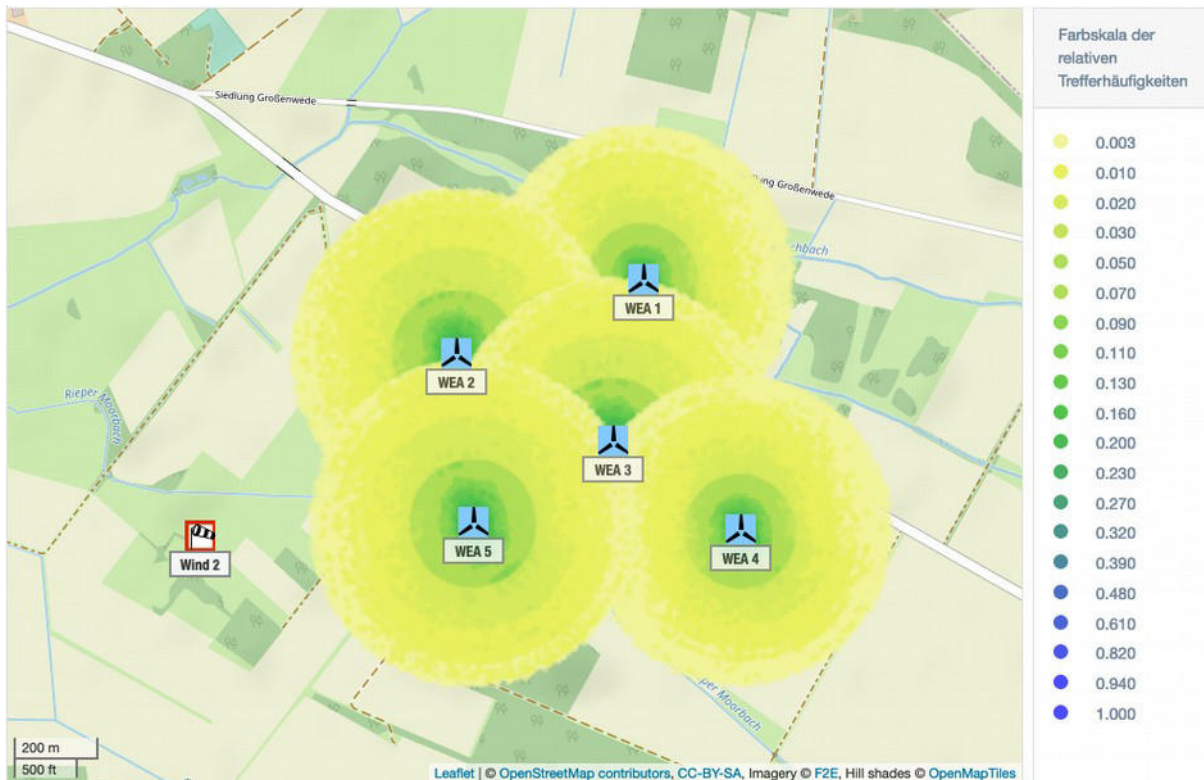
### A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken

Tabelle A.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Bruchstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf.

*Tabelle A.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Blattbruchstücke am Standort Ostervesede.*

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
1	367.2
2	392.9
3	388.5
4	364.8
5	388.2

In der Abbildung A.1.1 sind die daraus für die Umgebung der WEA 1 - 5 resultierenden Auftreffhäufigkeiten pro Rasterfläche (25m<sup>2</sup>) und Jahr dargestellt. Erkennbar sind die größeren Auftreffhäufigkeiten quer zur Hauptwindrichtung.



**Abbildung A.1.1:** Trefferhäufigkeiten von Blattbruchstücken pro Rasterfläche (25m<sup>2</sup>) in einer Millionen Jahren in der Umgebung der WEA 1 - 5 am Standort Ostervesede (Karte /1.4/).

## A.2 Turmversagen

Der Abstand zu den Schutzobjekten liegt für die WEA 2, 3 und 4 unterhalb des in Tabelle 2.3.1 genannten maximalen Einflussbereiches für den Fall Turmversagen. Eine Gefährdung der Schutzobjekte infolge Turmversagen ist daher für diese WEA zu unterstellen.

## A.3 Verlust der Gondel bzw. des Rotors

Der Abstand der Schutzobjekte liegt oberhalb des in Tabelle 2.3.1 genannten maximalen Einflussbereiches für einen Verlust der Gondel bzw. des Rotors. Eine Gefährdung der Schutzobjekte durch einen Verlust der Gondel bzw. des Rotors wird daher ausgeschlossen.

## A.4 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für die Gefährdungsbereiche der zu bewertenden WEA gemäß Kapitel 4.3 die in Tabelle A.4.1 aufgeführten Auftreffhäufigkeiten für Blattbruchstücke und die in Tabelle A.4.2 aufgeführten Auftreffhäufigkeiten infolge Turmversagens.





**Tabelle A.4.1:** Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken für die Gefährdungsbereiche am Standort Ostervesede.

Lfd.Nr. WEA	Schutzobjekt	Auftreffhäufigkeit eines Blattbruchstückes pro Jahr
1	Kreisstraße K236	$4.86 \cdot 10^{-6}$
	Straße „Siedlung Großenwede“	$1.77 \cdot 10^{-6}$
2	Kreisstraße K236	$8.75 \cdot 10^{-6}$
	öffentlich gewidmete Wege	$2.04 \cdot 10^{-6}$
3	Kreisstraße K236	$8.96 \cdot 10^{-6}$
4	Kreisstraße K236	$5.79 \cdot 10^{-6}$
5	Kreisstraße K236	0.0
	öffentlich gewidmete Wege	$3.64 \cdot 10^{-6}$

**Tabelle A.4.2:** Auftreffhäufigkeiten infolge Turmversagen für die Gefährdungsbereiche am Standort Ostervesede.

Lfd.Nr. WEA	Schutzobjekt	Auftreffhäufigkeit infolge Turmversagens pro Jahr
2	Kreisstraße K236	$8.53 \cdot 10^{-5}$
3	Kreisstraße K236	$8.53 \cdot 10^{-5}$
4	Kreisstraße K236	$3.51 \cdot 10^{-6}$

Für die Bewertung von Personenschäden wird davon ausgegangen, dass jedes Kfz im Mittel mit 1.5 Personen besetzt ist. Dies entspricht der durchschnittlichen Besetzungszahl von Pkw in Deutschland /1.6/.

Mit den genannten Ausführungen ergeben sich die in Tabelle A.4.3 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.

Das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko ist in Tabelle A.4.3 jeweils fett gedruckt.

Relevante Überschreitungen der Risikogrenzwerte gemäß Tabelle 2.8.3.1 bzw. Werte im ALARP-Bereich, die eventuell weitere Maßnahmen erfordern, treten in Tabelle A.4.3 nicht auf.



**Table A.4.3:** Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Ostervesede durch Blattbruch und Turmversagen.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	<b><math>2.26 \cdot 10^{-7}</math></b> <b>(einmal in 4.4 Mio. Jahren)</b>	$3.76 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 2.6 Mrd. Jahren)
	Straße „Siedlung Großenwede“	$4.15 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 24 Mio. Jahren)	<b><math>1.11 \cdot 10^{-9}</math></b> <b>(einmal in 0.9 Mrd. Jahren)</b>
2	Kreisstraße K236	<b><math>5.82 \cdot 10^{-6}</math></b> <b>(einmal in 171 000 Jahren)</b>	$9.69 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.1 Mrd. Jahren)
	öffentlich gewidmete Wege	$2.91 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 34.3 Mio. Jahren)	<b><math>7.77 \cdot 10^{-10}</math></b> <b>(einmal in 1.2 Mrd. Jahren)</b>
3	Kreisstraße K236	<b><math>5.83 \cdot 10^{-6}</math></b> <b>(einmal in 171 000 Jahren)</b>	$9.71 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.1 Mrd. Jahren)
4	Kreisstraße K236	<b><math>4.92 \cdot 10^{-7}</math></b> <b>(einmal in 2 Mio. Jahren)</b>	$8.19 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1.2 Mrd. Jahren)
5	öffentlich gewidmete Wege	$5.21 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 19.2 Mio. Jahren)	<b><math>1.39 \cdot 10^{-9}</math></b> <b>(einmal in 0.7 Mrd. Jahren)</b>





## Anhang B: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall

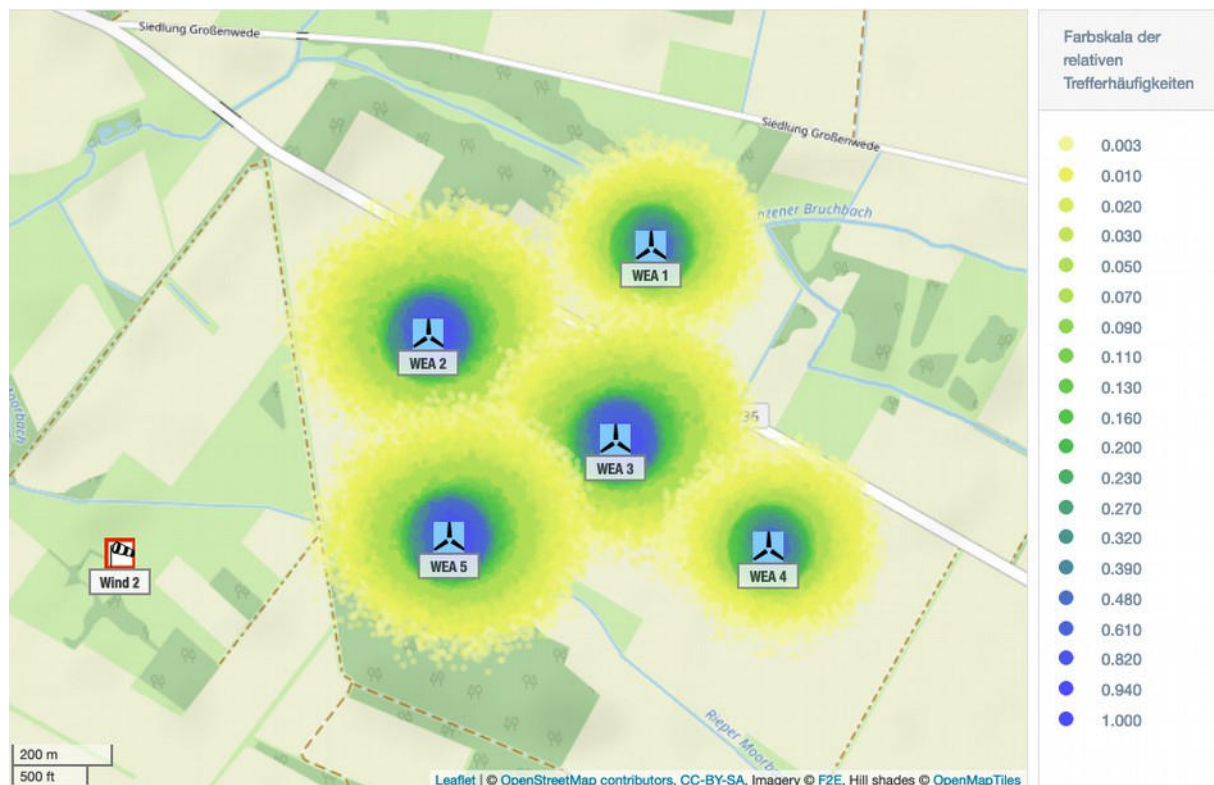
### B.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

Tabelle B.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Bruchstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf.

*Tabelle B.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Eisstücke am Standort Ostervesede.*

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]	Maximale Flugweite / (Nabenhöhe + Rotordurchmesser)
1	237.3	0.85
2	301.0	0.92
3	294.6	0.90
4	236.4	0.84
5	296.5	0.91

In der Abbildung B.1.1 sind die für die Umgebung der WEA resultierenden Treffer pro 16 Quadratmeter und Jahr dargestellt.



**Abbildung B.1.1:** Trefferhäufigkeiten von Eisstücken pro Rasterfläche (16m<sup>2</sup>) und Jahr in der Umgebung der WEA 1 - 5 am Standort Ostervesede (Karte /1.4/).



## B.2 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für die Gefährdungsbereiche der zu bewertenden WEA gemäß Kapitel 4.3 die in Tabelle B.2.1 aufgeführten Randbedingungen.

*Tabelle B.2.1: Randbedingungen für die Bewertung von Sach- bzw. Personenschäden am Standort Ostervesede.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr
1	Kreisstraße K236	0.004
	Straße „Siedlung Großenwede“	0.0
2	Kreisstraße K236	3.4
	öffentlich gewidmete Wege	0.02
3	Kreisstraße K236	4.2
4	Kreisstraße K236	0.2
5	Kreisstraße K236	0.0
	öffentlich gewidmete Wege	0.06

Für die Bewertung von Personenschäden wird davon ausgegangen, dass jedes Kfz im Mittel mit 1.5 Personen besetzt ist. Dies entspricht der durchschnittlichen Besetzungszahl von Pkw in Deutschland /1.6/. Eine infolge eines Treffers durch Eis resultierende Verkettung von Unfällen wurde nicht betrachtet.

Mit den genannten Ausführungen ergeben sich die in Tabelle B.2.2 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.

Das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko ist in Tabelle B.2.2 jeweils fett gedruckt.

Relevante Überschreitungen der Risikogrenzwerte gemäß Tabelle 2.8.3.1 bzw. Werte im ALARP-Bereich, die eventuell weitere Maßnahmen erfordern, sind in Tabelle B.2.2 jeweils kursiv gedruckt.



**Table B.2.2:** Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Ostervesede.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	$4.38 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 2.2 Mio. Jahren)	$7.29 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1.3 Mrd. Jahren)
2	Kreisstraße K236	$4.22 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 2300 Jahren)	$7.04 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.4 Mio. Jahren)
	öffentlich gewidmete Wege	$7.29 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 13.7 Mio. Jahren)	$2.33 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.4 Mrd. Jahren)
3	Kreisstraße K236	$5.25 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 1900 Jahren)	$8.75 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.1 Mio. Jahren)
4	Kreisstraße K236	$2.28 \cdot 10^{-5}$ (einmal in 43 000 Jahren)	$3.79 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 26.3 Mio. Jahren)
5	öffentlich gewidmete Wege	$1.77 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 5.6 Mio. Jahren)	$5.67 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.1 Mrd. Jahren)



## **Gutachten zu Risiken durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen am Standort Ostervesede**

**Referenz-Nummer:**

F2E-2021-TGS-018, Rev. 1 - gekürzte Fassung

**Auftraggeber:**

naturwind gmbh  
Schelfstraße 35, 19055 Schwerin

**Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:**

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG  
Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, [www.f2e.de](http://www.f2e.de)

**Verfasser:**

---

M.Sc. Rebecca Bode, Sachverständige,

Hamburg, 02.11.2021

**Geprüft:**

---

Dr.-Ing. Thomas Hahm, Sachverständiger,

Hamburg, 02.11.2021

**Für weitere Auskünfte:**

Tel.: 040 53303680-0 Fax: 040 53303680-79  
Rebecca Bode: [bode@f2e.de](mailto:bode@f2e.de) oder Dr. Thomas Hahm: [hahm@f2e.de](mailto:hahm@f2e.de)

**Urheber- und Nutzungsrecht:**

Urheber des Gutachtens ist die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erwirbt ein einfaches Nutzungsrecht entsprechend dem Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (UrhG). Das Nutzungsrecht kann nur mit Zustimmung des Urhebers übertragen werden. Veröffentlichung und Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien sind verboten. Eine Einsichtnahme der gekürzten Fassung des Gutachtens gemäß UVPG §23 (2) über die zentralen Internetportale von Bund und Ländern gemäß UVPG §20 Absatz (1) wird gestattet.



## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung.....	3
2	Grundlagen.....	4
2.1	Vereisung.....	4
2.2	Regelungen in den Normen zum Eiswurf- / Eisfallrisiko.....	5
2.3	Eintrittshäufigkeiten Bauteilversagen.....	7
2.4	Berechnung der Flugbahnen von Eisstücken.....	8
2.5	Vereisungshäufigkeiten.....	8
2.6	Berechnung der Flugbahn von Blattbruchstücken.....	10
2.7	Berechnung der Auftreffhäufigkeit nach Turmversagen.....	12
2.8	Grenzwerte und Risikobewertung.....	12
2.8.1	Grenzwerte individuelles Risiko.....	12
2.8.2	Grenzwerte kollektives Risiko.....	14
2.8.3	Risikobewertung.....	15
2.8.4	Risikomindernde Maßnahmen.....	17
2.8.5	Addition von Risiken.....	19
2.9	Gültigkeit der Ergebnisse.....	21
3	Eingangsdaten.....	22
3.1	Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	22
3.2	Winddaten am Standort.....	22
3.3	Windparkkonfiguration und Schutzobjekte.....	24
3.4	Aufenthaltshäufigkeiten.....	26
3.5	Standortspezifische Grenzwerte für das kollektive Risiko.....	26
3.6	Vereisungsrelevante WEA-Systeme.....	27
3.6.1	WEA-interne Eiserkennungssysteme.....	27
3.6.2	Optionale Eiserkennungssysteme.....	27
3.6.3	Systeme zur Prävention und Enteisung.....	27
3.6.4	Betriebsführungssystem.....	27
3.7	Risikoreduzierende Maßnahmen.....	27
4	Durchgeführte Untersuchungen.....	28
4.1	Standortbesichtigung.....	28
4.2	Vereisungsbedingungen am Standort.....	28
4.3	Ermittlung der Gefährdungsbereiche.....	29
4.3.1	Bauteilversagen.....	29
4.3.2	Eiswurf und Eisfall.....	30
4.4	Betrachtung der Einzelrisiken.....	30
4.4.1	Eiswurf.....	31
4.4.2	Eisfall.....	31



4.4.3 Bauteilversagen.....	31
4.5 Bewertung des Gesamtrisikos.....	31
5 Weitere Maßnahmen.....	33
5.1 Eisfall.....	33
6 Zusammenfassung.....	34
7 Formelzeichen und Abkürzungen.....	35
8 Literaturangaben.....	36
Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Bauteilversagen.....	38
A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken.....	38
A.2 Turmversagen.....	39
A.3 Verlust der Gondel bzw. des Rotors.....	39
A.4 Schadenshäufigkeiten.....	39
Anhang B: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall.....	42
B.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten.....	42
B.2 Schadenshäufigkeiten.....	43

## 1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall ausgehend von sich in Betrieb befindlichen bzw. stillstehenden (trudelnden) Windenergieanlagen (WEA) zu betrachten. Weiterhin wird eine Gefährdung durch Rotorblattbruch, Turmversagen und Verlust der Gondel bzw. des Rotors an den WEA betrachtet.

Die Bewertung erfolgt auf Basis des Gesamtrisikos durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen.



## **3 Eingangsdaten**

### **3.1 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte**

Am Standort Ostervesede (Niedersachsen) plant der Auftraggeber die Errichtung von fünf Windenergieanlagen (WEA 1 - 5).

Am Standort befinden sich keine weiteren benachbarten WEA.

In der Umgebung befinden sich die Kreisstraße K236, die Straße „Siedlung Großenwede“ und mehrere öffentlich gewidmete Wege, welche im Rahmen dieser Untersuchung vom Auftraggeber als Schutzobjekte definiert wurden (siehe Abbildung 3.3.1).

Die WEA 1 - 5 liegen in unmittelbarer Nähe zu den Schutzobjekten und werden im Folgenden hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen betrachtet.

### **3.2 Winddaten am Standort**

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten am Standort wurden /3.1, 3.2/ entnommen und sind in Tabelle 3.2.1 dargestellt.

Die vorliegenden Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung am Standort Ostervesede vorausgesetzt.



**Tabelle 3.2.1:** Winddaten am Standort (*f*: Häufigkeit der Windrichtung; *A* und *k*: Skalen- und Formparameter der Weibull-Verteilung).

Wind-Datensatz Nr.	Parameter	N	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	Koordinaten	
														Höhe über Grund [m]	
1	A [m/s]	5.75	5.68	6.34	7.44	7.60	7.27	7.60	8.07	8.94	8.35	7.41	6.25	Höhe über Grund [m]	125
	k [-]	2.506	2.346	2.791	3.010	3.154	2.971	2.822	2.939	2.682	2.498	2.389	2.447	Ost	32540846
	f (100% = 1)	0.046	0.042	0.054	0.072	0.08	0.061	0.068	0.119	0.168	0.127	0.094	0.069	Nord	5887412
2	A [m/s]	6.26	6.19	6.90	8.08	8.31	7.96	8.29	8.82	9.74	9.07	8.06	6.84	Höhe über Grund [m]	166
	k [-]	2.463	2.303	2.74	2.951	3.100	2.916	2.771	2.889	2.635	2.451	2.342	2.404	Ost	32540846
	f (100% = 1)	0.046	0.042	0.054	0.072	0.080	0.061	0.068	0.119	0.168	0.127	0.094	0.069	Nord	5887412






Die Parameter der Weibull-Verteilung werden genutzt, um die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen auf die jeweiligen Windgeschwindigkeiten umzurechnen. Die Weibull-Parameter werden dabei auf die jeweilige Nabenhöhe der WEA umgerechnet.



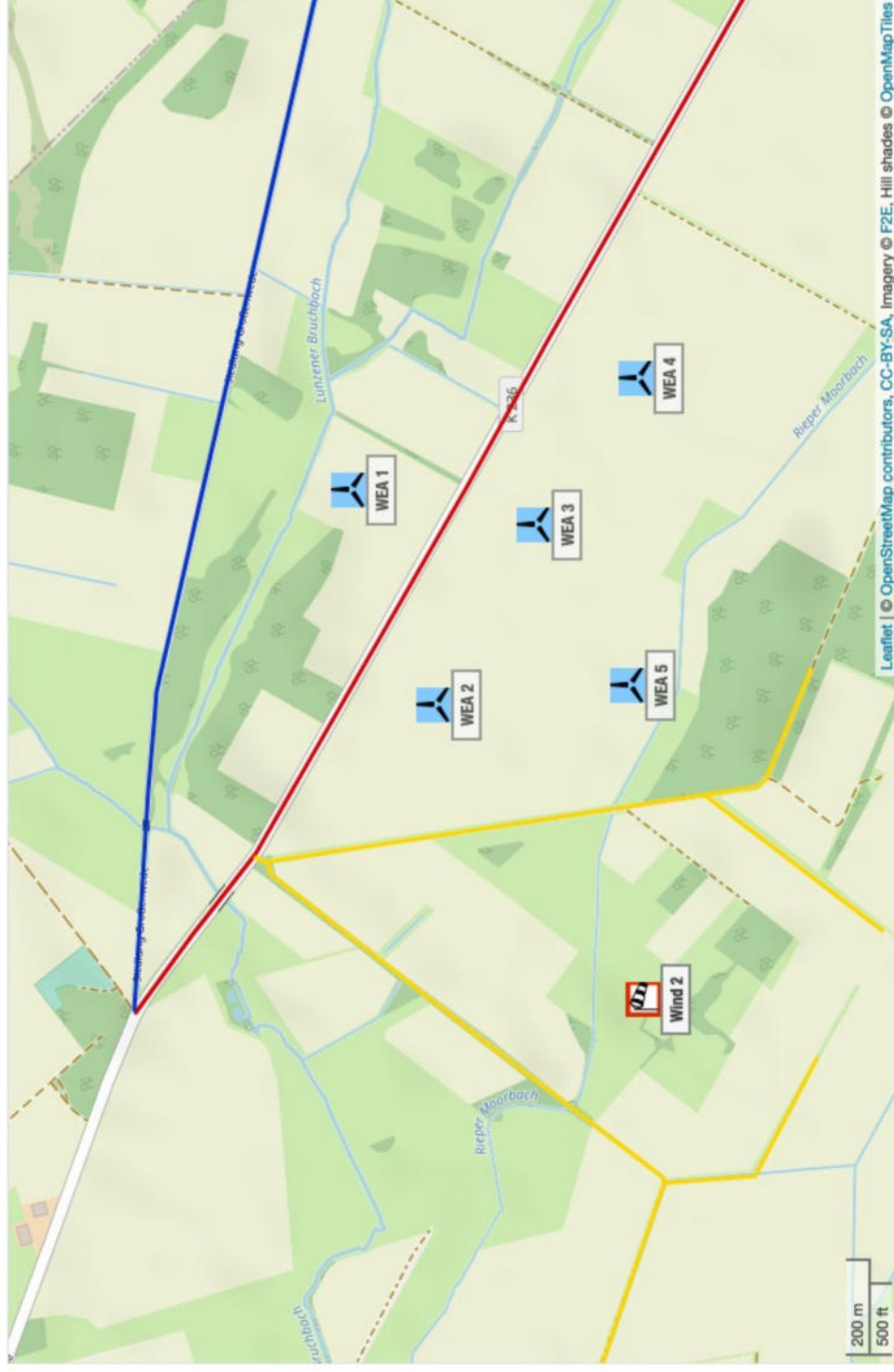


### 3.3 Windparkkonfiguration und Schutzobjekte

*Tabelle 3.3.1: Windparkkonfiguration.*

	Lfd. Nr. WEA	Bezeichnung	Koordinaten (UTM ETRS89/ WGS84 Zone 32)		Hersteller	WEA-Typ	P <sub>N</sub> [MW]	NH [m]	RD [m]	Wind- Datensatz Nr.
			East	North						
	1	WEA1	32541888	5888025	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	119.9	160.0	1
	2	WEA2	32541449	5887847	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	166.6	160.0	2
	3	WEA3	32541822	5887644	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	166.6	160.0	2
	4	WEA4	32542125	5887436	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	119.9	160.0	1
	5	WEA5	32541493	5887449	ENERCON	E-160 EP5 E3	5.56	166.6	160.0	2

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Lfd. Nr.) in Tabelle 3.3.1.





### 3.4 Aufenthaltshäufigkeiten

Für die Kreisstraße K236 zwischen Ostervesede und Lünzen liegt eine Verkehrszählung /3.3/ für den Zeitraum vom 15.03.2017 bis zum 22.03.2017 vor. Der Mittelwert der PKW-ähnlichen und LKW-ähnlichen Fahrzeuge über diesen Zeitraum beträgt 784 Kfz pro Tag. Im Folgenden wird von 800 Kfz pro Tag ausgegangen.

Auf der Kreisstraße K236 existiert keine Geschwindigkeitsbegrenzung. Aufgrund von Straßenbeschaffenheit und -verlauf wird davon ausgegangen, dass die mittlere Fahrzeug-Geschwindigkeit bei 100 Kilometern pro Stunde liegt.

Aufgrund der angenommenen Verkehrsbelastung und Fahrzeug-Geschwindigkeit erfolgt die Risikobewertung für die Kreisstraße K236 analog zu den Straßen des überregionalen Verkehrs (siehe Kapitel 2.8.5), da unter den genannten Annahmen davon ausgegangen werden kann, dass der akzeptierten Grenzwert für das kollektive Risiko im vorliegenden Fall repräsentativ für das auf die gefahrene Strecke bezogene Risiko ist.

Auf der Straße „Siedlung Großenwede“ wird im Folgenden von einem Verkehrsaufkommen von 50 Kfz und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 50 Personen pro Tag ausgegangen. Aufgrund von Wegbeschaffenheit und -verlauf wird hier von einer mittleren Fahrzeug-Geschwindigkeit von 50 Kilometern pro Stunde ausgegangen.

Auf den angrenzenden öffentlich gewidmeten Wegen wird im Folgenden von einem Verkehrsaufkommen von 50 Kfz und einem zusätzlichen Personenaufkommen von 50 Personen pro Tag ausgegangen. Aufgrund von Wegbeschaffenheit und -verlauf wird hier von einer mittleren Fahrzeug-Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Stunde ausgegangen.

### 3.5 Standortsspezifische Grenzwerte für das kollektive Risiko

Für Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Landesstraßen, wurden die Grenzwerte auf Basis des vorhandenen Unfallrisikos bestimmt (siehe Kapitel 2.8.2). Tabelle 3.5.1 listet die ermittelten oberen Grenzwerte für ein inakzeptables Risiko. Die weiteren Risikobereiche gemäß Tabelle 2.8.3.1 liegen jeweils eine Zehnerpotenz niedriger und sind nicht extra aufgeführt.

*Tabelle 3.5.1: Spezifische obere Risikogrenzwerte für das kollektive Risiko.*

Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko Grenzwert für ein inakzeptables Risiko
Kreisstraße K236	$> 9.75 \cdot 10^{-4}$ (einmal in 1025 Jahren)



## **3.6 Vereisungsrelevante WEA-Systeme**

### **3.6.1 WEA-interne Eiserkennungssysteme**

Für die WEA 1 – 5 ist das ENERCON-Eiserkennungssystem nach dem Leistungskurvenverfahren noch in der Entwicklung /3.4/.

### **3.6.2 Optionale Eiserkennungssysteme**

Die WEA 1 – 5 sind mit einem externen zertifizierten Eisansatzerkennungssystem der Firma Wölfel /3.5/ und zusätzlich mit einer Rotorblattenteisung entsprechend /3.6/ ausgestattet.

Die Bewertung dieser Systeme ist nicht Bestandteil des Gutachtens. Gemäß /3.7/ liegen für die Systeme der Firma Wölfel Nachweise vor, dass eine hinreichend sensible Erkennung von kritischen Eisansatz gegeben ist.

In /3.7/ wurde die Kompatibilität von IDD.Blade mit den ENERCON Betriebsführungs- und Sicherheitssystemen geprüft. Danach ist IDD.Blade als Eiserkennungssystem für Windenergieanlagen des Herstellers ENERCON geeignet.

### **3.6.3 Systeme zur Prävention und Enteisung**

Die WEA 1 - 5 sind zusätzlich mit einer Rotorblattheizung entsprechend /3.6/ ausgestattet.

Der Betrieb der Rotorblattheizung während des Betriebes der WEA wurde nicht betrachtet.

Die Berechnungen decken den Einsatz der Rotorblattheizung im Trudelbetrieb bzw. bei Stillstand der WEA und manuellem Wiederauffahren ab.

### **3.6.4 Betriebsführungssystem**

Nach einer Abschaltung durch das Eiserkennungssystem geht die WEA in einen definierten Zustand. Angaben zu Trudeldrehzahlen, Blattstellung und Windnachführung der WEA wurden gemäß /3.8/ umgesetzt.

## **3.7 Risikoreduzierende Maßnahmen**

Die im Anhang B dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine risikoreduzierenden Maßnahmen.



## **4 Durchgeführte Untersuchungen**

### **4.1 Standortbesichtigung**

Eine Standortbesichtigung ist im Rahmen der Bewertung des Risikos durch Eiswurf , Eisfall und Bauteilversagen nicht durch ein Regelwerk vorgeschrieben oder geregelt. Eine Standortbesichtigung empfiehlt sich, wenn die Situation vor Ort nicht ausreichend bekannt ist.

Im Rahmen der Standortbesichtigung werden die potentiellen Schutzobjekte vor Ort dokumentiert und besichtigt. Es werden Informationen zur Beschaffenheit der Schutzobjekte, wie z.B. Straßenbelag, Geschwindigkeitsbeschränkungen und Fahrverboten bei Verkehrswegen aufgenommen.

Die Standortbesichtigung dient nicht zur Bestimmung der Aufenthaltshäufigkeit von Personen in oder auf Schutzobjekten, der Bestimmung der Frequentierung von Verkehrswegen, der Bestimmung der Klimatologie des Standortes oder der Verifizierung der Windparkkonfiguration.

Die Schutzobjekte vor Ort wurden vom Auftraggeber festgelegt (siehe Kapitel 3.1). Aufgrund der vorhandenen Datenlage zu den Schutzobjekten wurde auf eine Standortbesichtigung verzichtet.

### **4.2 Vereisungsbedingungen am Standort**

Die Vereisungshäufigkeit am Standort wurde entsprechend Kapitel 2.5 ermittelt.

Die Anzahl der insgesamt am Standort zu unterstellenden Eisstücke ergibt sich aus der Anzahl der Eisstücke pro Vereisungsereignis und der Anzahl der Vereisungstage.

Für die WEA ist konservativ davon auszugehen, dass es an allen Vereisungstagen zu einer vollständigen Vereisung der WEA kommt.

In Übereinstimmung mit /2.1/ kann die insgesamt zu berücksichtigende Eismasse abhängig von der Blattgeometrie anhand des Vereisungslastfalles der internationalen Richtlinie für WEA /2.4/ definiert werden. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Masse der Eisstücke lässt sich daraus eine Anzahl Eisstücke pro Vereisung ableiten. Die Anzahl ist dabei unabhängig davon, ob ein Risiko durch Eisfall oder Eiswurf betrachtet wird.

Damit ergeben sich am Standort Ostervesede die in Tabelle 4.2.1 dargestellten Vereisungsbedingungen.



**Tabelle 4.2.1:** Vereisungsbedingungen am Standort Ostervesede .

Lfd. Nr. WEA	Vereisungshäufigkeit [%]	Vereisungstage pro Jahr	Eisstücke pro Jahr pro WEA
1 - 5	1.8	6.6	1258

### 4.3 Ermittlung der Gefährdungsbereiche

#### 4.3.1 Bauteilversagen

Wurfweiten für Blattbruchstücke erreichen deutlich größere Werte als die in Tabelle 2.3.1 angegebene Wurfweite für das ganze Blatt. Als potentieller Gefahrenbereich kann hierfür in guter Näherung der potentielle Gefahrenbereich für Eiswauf vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) angenommen werden.

Damit ergeben sich für die einzelnen WEA die in Tabelle 4.3.1.1 aufgeführten zu betrachtenden Schutzobjekte und zugehörige Abstände.

**Tabelle 4.3.1.1:** Zu betrachtende Schutzobjekte und Abstände zu den Schutzobjekten.

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Schutzobjekt	Abstand [m]
	1	WEA1	Kreisstraße K236	ca. 202
			Straße „Siedlung Großenwede“	ca. 290
	2	WEA2	Kreisstraße K236	ca. 170
			öffentlich gewidmete Wege	ca. 260
	3	WEA3	Kreisstraße K236	ca. 165
	4	WEA4	Kreisstraße K236	ca. 199
	5	WEA5	Kreisstraße K236	ca. 488
			öffentlich gewidmete Wege	ca. 250

Zusätzlich zum Risiko durch Blattbruchstücke ergeben sich aus dem Vergleich mit den Wurfweiten entsprechend Tabelle 2.3.1 für die weiteren zu berücksichtigenden Risiken der zu bewertenden WEA folgende Aussagen:






- Eine Gefährdung durch Verlust der Gondel bzw. des Rotors ist nicht zu unterstellen.
- Eine Gefährdung durch ein Versagen des Turmes ist für die WEA 2, 3 und 4 zu unterstellen.



### 4.3.2 Eiswurf und Eisfall

Auf Grundlage der potentiellen Gefahrenbereiche der WEA vom 1.5fachen der Summe aus Nabenhöhe und Rotordurchmesser (siehe Kapitel 2.2) ergeben sich für die einzelnen WEA die in Tabelle 4.3.2.1 aufgeführten zu betrachtenden Schutzobjekte.

*Tabelle 4.3.2.1: Zu betrachtende Schutzobjekte.*

	Lfd.Nr. WEA	Bezeichnung	Potentieller Gefährdungsbereich	
			Radius [m]	Schutzobjekte im Bereich
	1	WEA 1	419.9	Kreisstraße K236
				Straße „Siedlung Großenwede“
	2	WEA 2	489.9	Kreisstraße K236
				öffentlich gewidmete Wege
	3	WEA 3	489.9	Kreisstraße K236
	4	WEA4	419.9	Kreisstraße K236
	5	WEA5	489.9	Kreisstraße K236
				öffentlich gewidmete Wege

Wenn die Gefährdungsbereiche einzelner WEA sich überlappen (siehe Kapitel 2.8.5), wird das Risiko der relevanten benachbarten WEA entsprechend berücksichtigt.

### 4.4 Betrachtung der Einzelrisiken

Aus der in Kapitel 4.2 ermittelten Gesamtanzahl von Eisstücken, der Windgeschwindigkeitsverteilung gemäß Tabelle 3.2.1, der Geometrie und Betriebsweise der WEA sowie der Topografie am Standort, ergeben sich in der Umgebung einer WEA für jeden Punkt unterschiedliche Trefferhäufigkeiten von Eisstücken. Hinzu kommen die Trefferhäufigkeiten durch Bauteilversagen. Auf Basis dieser Trefferhäufigkeiten ist die spezifische Gefährdung von Personen abhängig von der Wegstrecke, den die Personen bzw. die mit Personen besetzten Fahrzeuge in der Umgebung der WEA nehmen, der Geschwindigkeit, mit der sie sich fortbewegen sowie der Häufigkeit, mit der ein bestimmter Weg genommen wird. Verkehrswege und andere Freiflächen bzw. Gebäude, die keinen Schutz gegen Eisstücke bieten, unterscheiden sich beim Risiko durch Eiswurf oder Eisfall nur dahingehend, dass die Wegstrecke bei Verkehrswegen deutlich vorgegeben ist, während sie bei Freiflächen typischerweise durch eine allgemeine Aufenthaltshäufigkeit ersetzt wird.

Eine spezifische Gefährdung lässt sich daher nicht in Form einer Gefährdungskarte





in der Umgebung einer WEA darstellen, da für jeden Punkt in der Umgebung einer WEA theoretisch unendlich viele Szenarien denkbar sind. Die Gefährdung ist daher stets in Bezug zu einem Schutzobjekt unter Berücksichtigung der genannten Randbedingungen zu ermitteln.

#### **4.4.1 Eiswurf**

Aufgrund der vorhandenen Systeme zur Eiserkennung kann der Betrieb bei potentiell gefährlichem Eisansatz weitestgehend ausgeschlossen werden. Für diese WEA ist daher eine Gefährdung durch Eiswurf standortspezifisch nicht zu betrachten.

#### **4.4.2 Eisfall**

Eine Gefährdung durch Eisfall für Personen in der Umgebung der WEA 1 - 5 ist standortspezifisch zu betrachten, auch wenn eines der in Kapitel 3.6 genannten Systeme zur Eiserkennung zu diesem Zweck genutzt wird.

Entsprechend Kapitel 2.2 besteht auch bei vorhandener funktionssicherer Eiserkennung stets ein Risiko durch Eisfall in der Umgebung einer WEA. Dieses Risiko ist daher standortspezifisch zu bewerten.

Details zu den Berechnungen sind im Anhang B dargestellt.

#### **4.4.3 Bauteilversagen**

Ein Risiko durch Bauteilversagen ist stets entsprechend der in Kapitel 2.3 aufgeführten Eintrittshäufigkeiten zu unterstellen.

Details zu den Berechnungen sind im Anhang A dargestellt.

### **4.5 Bewertung des Gesamtrisikos**

Mit den Detailergebnissen für Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen ergeben sich am Standort Ostervesede folgende Gesamtrisiken:





**Tabelle 4.5.1:** Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Ostervesede.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	<b><math>6.63 \cdot 10^{-7}</math></b> <b>(einmal in 1.5 Mio. Jahren)</b>	$1.11 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.9 Mrd. Jahren)
	Straße „Siedlung Großenwede“	$4.15 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 24 Mio. Jahren)	<b><math>1.11 \cdot 10^{-9}</math></b> <b>(einmal in 0.9 Mrd. Jahren)</b>
2	Kreisstraße K236	<b><math>4.28 \cdot 10^{-4}</math></b> <b>(einmal in 2300 Jahren)</b>	$7.14 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.4 Mio. Jahren)
	öffentlich gewidmete Wege	$1.02 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 9.7 Mio. Jahren)	<b><math>3.11 \cdot 10^{-9}</math></b> <b>(einmal in 0.3 Mrd. Jahren)</b>
3	Kreisstraße K236	<b><math>5.31 \cdot 10^{-4}</math></b> <b>(einmal in 1800 Jahren)</b>	$8.84 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.1 Mio. Jahren)
4	Kreisstraße K236	<b><math>2.32 \cdot 10^{-5}</math></b> <b>(einmal in 43 000 Jahren)</b>	$3.87 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 25.8 Mio. Jahren)
5	Kreisstraße K236	---*	---
	öffentlich gewidmete Wege	$2.29 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 4.3 Mio. Jahren)	<b><math>7.06 \cdot 10^{-9}</math></b> <b>(einmal in 0.1 Mrd. Jahren)</b>

\*: Die Ergebnisse zeigen, dass das Schutzobjekt nicht von Eisstücken der WEA getroffen wird.

Wie in Kapitel 2.8 dargestellt, erfolgt die Bewertung des individuellen und kollektiven Risikos durch eine Einteilung in vier Bereiche von inakzeptabel bis uneingeschränkt akzeptabel. Damit ergeben sich bezogen auf die betrachteten WEA und Schutzobjekte folgende Ergebnisse für das Gesamtrisiko. Es ist in Tabelle 4.5.2 jeweils nur das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko dargestellt (siehe Kapitel 2.8).



**Tabelle 4.5.2:** Gefährdung durch Eiswurf/Eisfall und Bauteilversagen am Standort Ostervesede.

Gesamtbewertung der einzelnen WEA			
Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	uneingeschränkt akzeptabel	---
	Straße „Siedlung Großenwede“	---	uneingeschränkt akzeptabel
2	Kreisstraße K236	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	---
	öffentlich gewidmete Wege	---	uneingeschränkt akzeptabel
3	Kreisstraße K236	akzeptabel - Maßnahmen sind in Betracht zu ziehen	---
4	Kreisstraße K236	akzeptabel - Maßnahmen in der Regel nicht erforderlich	---
5	Kreisstraße K236	---*	---
	öffentlich gewidmete Wege	---	uneingeschränkt akzeptabel

\*: Die Ergebnisse zeigen, dass das Schutzobjekt nicht von Eisstücken der WEA getroffen wird.

Die Gefährdungsbereiche der WEA überschneiden sich nur für das Risiko durch Blattbruchstücke. Die daraus entstehenden Beiträge zum Risiko der jeweils benachbarten WEA sind vernachlässigbar. Eine weitere Betrachtung addierter Risiken (siehe auch Kapitel 2.8.5) ist daher nicht erforderlich.

Da die Risiken der WEA 2 und 5 bezüglich der öffentlich gewidmeten Wege im uneingeschränkt akzeptablen Bereich liegen, ist eine weitere Betrachtung addierter Risiken (siehe auch Kapitel 2.8.5) innerhalb des Windparks nicht erforderlich.

## 5 Weitere Maßnahmen

Liegt das Risiko im inakzeptablen oder im oberen orangen ALARP-Bereich sind etablierte risikomindernde Maßnahmen umzusetzen (siehe Kapitel 2.8.4).

### 5.1 Eisfall

Da die für die WEA 2 und 3 ermittelten Risiken bezüglich des Schutzobjektes Kreisstraße K236 im oberen ALARP-Bereich liegen, sind weitere Maßnahmen in Betracht



zu ziehen, um das Risiko noch weiter zu senken.

Für die WEA 2 und 3 empfehlen wir nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz den Rotor der WEA so auszurichten, dass möglichst wenige Eisstücke die Kreisstraße K236 treffen und entsprechend den Vorgaben des Herstellers die Azimutposition des Rotors bis zur maximal möglichen Windgeschwindigkeit beizubehalten. Die erforderlichen Werte sind in Tabelle 5.1.1 dargestellt (zur Definition des Azimutwinkels siehe Abbildung 2.8.4.1).

*Tabelle 5.1.1: Empfohlene Azimut-Positionen nach Abschaltung auf Grund von Eisansatz für den Rotor der WEA.*

Lfd. Nr. WEA	Azimutwinkel bei Stillstand [°]
2	209
3	209

## 6 Zusammenfassung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, die vorliegende Windparkkonfiguration hinsichtlich einer Gefährdung durch Eiswurf und Eisfall sowie durch Bauteilversagen ausgehend von den stillstehenden (trudelnden) bzw. in Betrieb befindlichen WEA zu betrachten und zu bewerten.

Als Schutzobjekte wurden die Kreisstraße K236, die Straße „Siedlung Großenwede“ und mehrere öffentlich gewidmete Wege in der Nachbarschaft der WEA definiert.

Eine mögliche Ursache für ein Umstürzen der WEA, einen Absturz des Rotors, einen Absturz der Gondel oder den Verlust des ganzen bzw. Teilen eines Rotorblattes ist ein Brand der WEA. Das durch einen Brand hierdurch verursachte Risiko ist daher in der Risikobetrachtung für das Bauteilversagen enthalten und mit abgedeckt.

Die abschließende Bewertung des Gesamtrisikos ist in Tabelle 6.1 für alle zu bewertenden WEA bezüglich der relevanten Schutzobjekte dargestellt. Zu berücksichtigende benachbarte WEA (siehe Kapitel 2.8.5) sind in der Bewertung enthalten. Schutzobjekte, die von der jeweiligen WEA nicht getroffen werden, sind in Tabelle 6.1 nicht aufgeführt.

Maßnahmen, die in den Berechnungen berücksichtigt wurden und entsprechend für die getroffene Aussage unabdingbar sind, werden in der Spalte „Maßnahmen - erforderlich“ aufgeführt. Maßnahmen, die umgesetzt werden sollten, weil das Risiko im oberen ALARP-Bereich (siehe Kapitel 2.8) liegt, werden in der Spalte „Maßnahmen - empfohlen“ aufgeführt.



**Tabelle 6.1:** Bewertung des Gesamtrisikos.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Risiko- bewertung	Maßnahmen	
			erforderlich	empfohlen
1	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	---
	Straße „Siedlung Großenwede“	akzeptabel	---	---
2	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	Kapitel 5
	öffentlich gewidmete Wege	akzeptabel	---	---
3	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	Kapitel 5
4	Kreisstraße K236	akzeptabel	---	---
5	öffentlich gewidmete Wege	akzeptabel	---	---

## 7 Formelzeichen und Abkürzungen

WEA	Windenergieanlage	
RD	Rotordurchmesser	
NH	Nabenhöhe	
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989	
UTM	Universale Transversale Mercator Projektion	
WGS84	World Geodetic System 1984	
ü. NN	über Normalnull	
MEM	Minimale endogen Sterblichkeit	
Kfz	Kraftfahrzeug	
A	Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
v	Windgeschwindigkeit	[m/s]
h	Höhe	[m]
$\Theta$	Azimutwinkel	[°]



## 8 Literaturangaben

### Allgemein

- /1.1/ Bengt Tammelin et. al.; Wind Energy Production in Cold climates; Meteorological publications No.41, Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland, February 2000.
- /1.2/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind Task 19, State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates, Edition October 2012.
- /1.3/ Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen; Verkehrstechnik Heft V 291, Fahrleistungserhebung 2014 – Inlandsfahrleistung und Unfallrisiko; Bergisch Gladbach, August 2017.
- /1.4/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /1.5/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2006, Hole-filled seamless SRTM data V3, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT).
- /1.6/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Mobilität in Deutschland 2008; Ergebnisbericht, Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends; Bonn und Berlin, Februar 2010.
- /1.7/ Schneider J., Schlatter H. P.; Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen - Grundwissen für Ingenieure; 1. Auflage, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- /1.8/ Wichura, B., 2013. The Spatial Distribution of Icing in Germany Estimated by the Analysis of Weather Station Data and of Direct Measurements of Icing, Proceedings of the 15th International Workshop On Atmospheric Icing Of Structures (IWAI 2013). Compusult Ltd., St. John's, Newfoundland and Labrador, September 8-11, 2013, pp. 303-309.
- /1.9/ HSE, Health and safety Executive. (n.d.); Risk analyses or 'predictive' aspects of comah safety reports guidance for explosives sites - The COMAH Safety Report Process for Predictive Assessment of Explosives Sites, downloaded 2014-08-21; Retrieved from <http://www.hse.gov.uk/comah/>
- /1.10/ Bredesen, R. E.; Kjeller Vindteknikk AS; Icethrow from wind turbines - Assessment and risk management; IEA Wind Task 19, Präsentation bei der Winterwind International Wind Energy Conference, Åre 2017.
- /1.11/ C. J. Faasen, P. A. L. Franck, A. M. H. W. Taris; Handboek Risicozonering Windturbines, Eindversie, 3e geactualiseerde versie mei 2013, en Herziene versie 3.1 september 2014; Nederland.
- /1.12/ T. Hahm, J. Kröning; Rotorblattversagen – Gefährdungsanalyse für die Umgebung von Windenergieanlagen; 6. Deutsche Windenergie-Konferenz DEWEK 2002.
- /1.13/ J. Kesenheimer; Grundlagenforschung zur Restnutzungsdauer von Windenergieanlagen; Technische Universität Hamburg-Harburg, April 2003.
- /1.14/ Oliver J., Creighton P.; Road Accidents, Bicycle injuries and helmet use: a systematic review and meta-analysis; International Journal of Epidemiology, 2017, 278-292.

### Normen



- /2.1/ International Energy Agency (IEA), IEA Wind TCP Task 19; International Recommendations for Ice Fall and Ice Throw Risk Assessments; October 2018.
- /2.2/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen - Fassung Juni 2015 bzw. Veröffentlichung der Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen, Ausgabe 2017/1.
- /2.3/ DIN EN 50126; Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS); Deutsches Institut für Normung e.V., März 2000.
- /2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).
- /2.5/ DNV GL AS; Certification of condition monitoring, DNVGL-SE-0439:2016-06; June 2016.
- /2.6/ DIN EN ISO 16708; Erdöl- und Erdgasindustrie - Rohrleitungstransportsysteme - Zuverlässigkeitsanalysen (ISO 16708:2006); Englische Fassung EN ISO 16708:2006; Deutsches Institut für Normung e.V., August 2006.
- /2.7/ ISO 13623; Petroleum and natural gas industries - Pipeline transportation systems; ISO 13623:2000(E), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

### Projektspezifisch

- /3.1/ Ingenieurbüro PLANKon; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK – Hauptergebnis für 125 m NH, Projekt: Ostervesede; 13.12.2018; Oldenburg, Deutschland.
- /3.2/ Ingenieurbüro PLANKon; WindPRO Ergebnisausdruck, PARK – Hauptergebnis für 166 m NH, Projekt: Ostervesede; 13.12.2018; Oldenburg, Deutschland.
- /3.3/ Landkreis Rotenburg (Wümme); PDF-Auswertung Zählstelle 734 Ostervesede - Lünzen; 23.03.2017; Rotenburg (Wümme), Deutschland.
- /3.4/ ENERCON GmbH; Technische Beschreibung ENERCON Eisansatzerkennung ENERCON Windenergieanlagen; Dokument D0154407-10.1, 2021-02-23.
- /3.5/ ENERCON GmbH; Technische Beschreibung, Eisansatzerkennung, ENERCON Windenergieanlagen EP5; Dokument D0827984/3.1-de, 25.01.2021.
- /3.6/ ENERCON PRODUKTPORTFOLIO TECHNISCHE DATENBLÄTTER (STAND 05/2019).
- /3.7/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG; Gutachten zur Einbindung eines Eiserkennungssystems Typ IDD.Blade in Lagerwey / ENERCON Windenergieanlagen. TÜV NORD Bericht-Nr.: 8117075038 Rev. 2; Hamburg, 03.12.2020.
- /3.8/ ENERCON GmbH; Angaben zum Trudelbetrieb nach Abschaltung wegen Eisansatz; per E-Mail am 18.12.2019, 06.01.2020, 04.03.2020 und 22.6.2021



## Anhang A: Detaillierte Berechnungsergebnisse Bauteilversagen

### A.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken

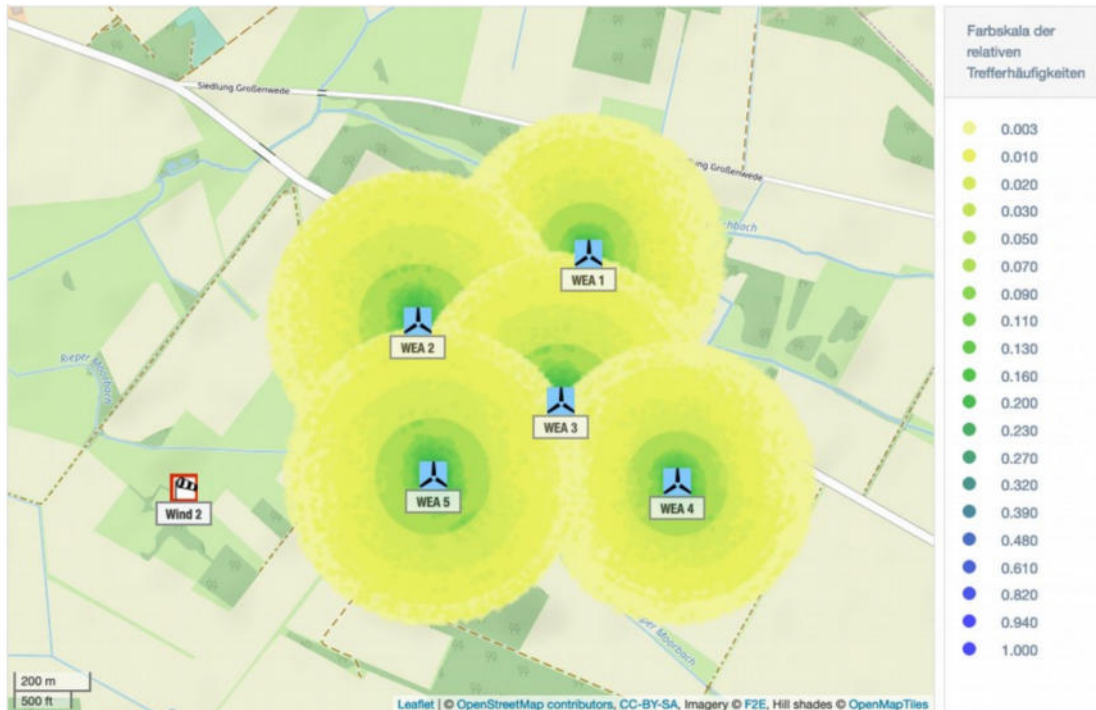
Tabelle A.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Bruchstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf.

*Tabelle A.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Blattbruchstücke am Standort Ostervesede.*

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]
1	367.2
2	392.9
3	388.5
4	364.8
5	388.2

In der Abbildung A.1.1 sind die daraus für die Umgebung der WEA 1 - 5 resultierenden Auftreffhäufigkeiten pro Rasterfläche (25m<sup>2</sup>) und Jahr dargestellt. Erkennbar sind die größeren Auftreffhäufigkeiten quer zur Hauptwindrichtung.





**Abbildung A.1.1:** Trefferhäufigkeiten von Blattbruchstücken pro Rasterfläche (25m<sup>2</sup>) in einer Millionen Jahren in der Umgebung der WEA 1 - 5 am Standort Ostervesede (Karte /1.4/).

## A.2 Turmversagen

Der Abstand zu den Schutzobjekten liegt für die WEA 2, 3 und 4 unterhalb des in Tabelle 2.3.1 genannten maximalen Einflussbereiches für den Fall Turmversagen. Eine Gefährdung der Schutzobjekte infolge Turmversagen ist daher für diese WEA zu unterstellen.

## A.3 Verlust der Gondel bzw. des Rotors

Der Abstand der Schutzobjekte liegt oberhalb des in Tabelle 2.3.1 genannten maximalen Einflussbereiches für einen Verlust der Gondel bzw. des Rotors. Eine Gefährdung der Schutzobjekte durch einen Verlust der Gondel bzw. des Rotors wird daher ausgeschlossen.

## A.4 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für die Gefährdungsbereiche der zu bewertenden WEA gemäß Kapitel 4.3 die in Tabelle A.4.1 aufgeführten Auftreffhäufigkeiten für Blattbruchstücke und die in Tabelle A.4.2 aufgeführten Auftreffhäufigkeiten infolge Turmversagens.





**Tabelle A.4.1:** Auftreffhäufigkeiten von Blattbruchstücken für die Gefährdungsbereiche am Standort Ostervesede.

Lfd.Nr. WEA	Schutzobjekt	Auftreffhäufigkeit eines Blattbruchstückes pro Jahr
1	Kreisstraße K236	$4.86 \cdot 10^{-6}$
	Straße „Siedlung Großenwede“	$1.77 \cdot 10^{-6}$
2	Kreisstraße K236	$8.75 \cdot 10^{-6}$
	öffentlich gewidmete Wege	$2.04 \cdot 10^{-6}$
3	Kreisstraße K236	$8.96 \cdot 10^{-6}$
4	Kreisstraße K236	$5.79 \cdot 10^{-6}$
5	Kreisstraße K236	0.0
	öffentlich gewidmete Wege	$3.64 \cdot 10^{-6}$

**Tabelle A.4.2:** Auftreffhäufigkeiten infolge Turmversagen für die Gefährdungsbereiche am Standort Ostervesede.

Lfd.Nr. WEA	Schutzobjekt	Auftreffhäufigkeit infolge Turmversagens pro Jahr
2	Kreisstraße K236	$8.53 \cdot 10^{-5}$
3	Kreisstraße K236	$8.53 \cdot 10^{-5}$
4	Kreisstraße K236	$3.51 \cdot 10^{-6}$

Für die Bewertung von Personenschäden wird davon ausgegangen, dass jedes Kfz im Mittel mit 1.5 Personen besetzt ist. Dies entspricht der durchschnittlichen Besetzungszahl von Pkw in Deutschland /1.6/.

Mit den genannten Ausführungen ergeben sich die in Tabelle A.4.3 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.

Das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko ist in Tabelle A.4.3 jeweils fett gedruckt.

Relevante Überschreitungen der Risikogrenzwerte gemäß Tabelle 2.8.3.1 bzw. Werte im ALARP-Bereich, die eventuell weitere Maßnahmen erfordern, treten in Tabelle A.4.3 nicht auf.



**Table A.4.3:** Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Ostervesede durch Blattbruch und Turmversagen.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	<b><math>2.26 \cdot 10^{-7}</math></b> (einmal in 4.4 Mio. Jahren)	$3.76 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 2.6 Mrd. Jahren)
	Straße „Siedlung Großenwede“	$4.15 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 24 Mio. Jahren)	<b><math>1.11 \cdot 10^{-9}</math></b> (einmal in 0.9 Mrd. Jahren)
2	Kreisstraße K236	<b><math>5.82 \cdot 10^{-6}</math></b> (einmal in 171 000 Jahren)	$9.69 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.1 Mrd. Jahren)
	öffentlich gewidmete Wege	$2.91 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 34.3 Mio. Jahren)	<b><math>7.77 \cdot 10^{-10}</math></b> (einmal in 1.2 Mrd. Jahren)
3	Kreisstraße K236	<b><math>5.83 \cdot 10^{-6}</math></b> (einmal in 171 000 Jahren)	$9.71 \cdot 10^{-9}$ (einmal in 0.1 Mrd. Jahren)
4	Kreisstraße K236	<b><math>4.92 \cdot 10^{-7}</math></b> (einmal in 2 Mio. Jahren)	$8.19 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1.2 Mrd. Jahren)
5	öffentlich gewidmete Wege	$5.21 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 19.2 Mio. Jahren)	<b><math>1.39 \cdot 10^{-9}</math></b> (einmal in 0.7 Mrd. Jahren)



## Anhang B: Detaillierte Berechnungsergebnisse Eisfall

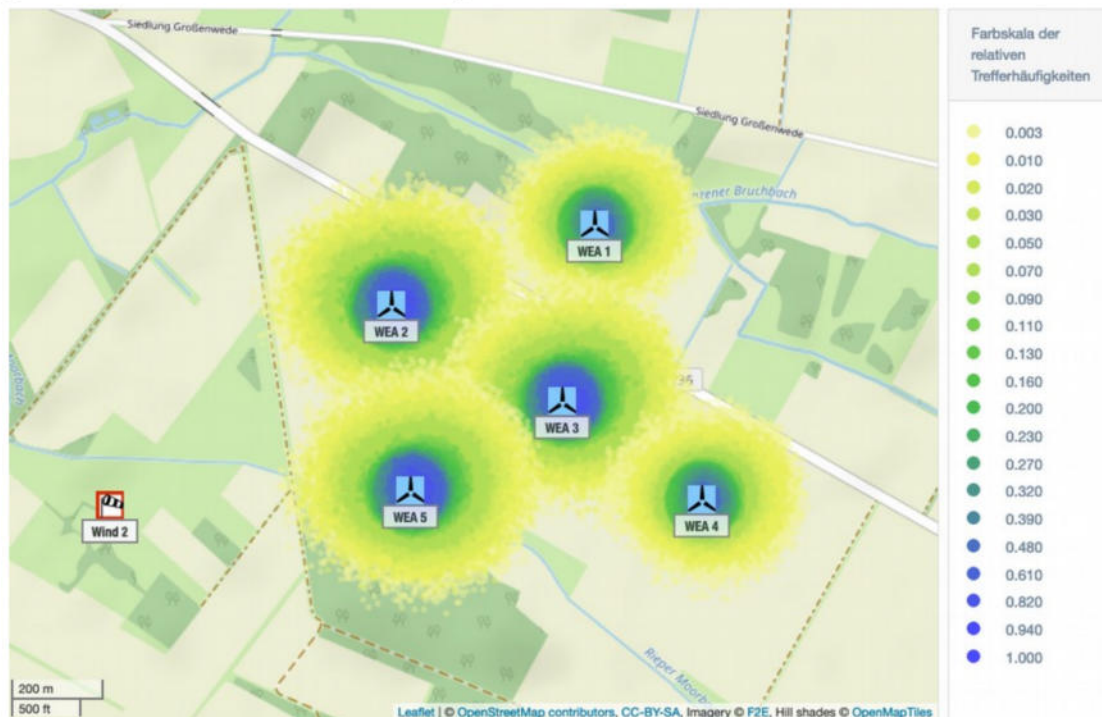
### B.1 Berechnung der Auftreffhäufigkeiten

Tabelle B.1.1 listet die maximal erreichte Flugweite der Bruchstücke bezogen auf den Fußpunkt der WEA auf.

*Tabelle B.1.1: Maximale Flugweite der betrachteten Eisstücke am Standort Ostervesede.*

Lfd. Nr. WEA	Maximale Flugweite [m]	Maximale Flugweite / (Nabenhöhe + Rotordurchmesser)
1	237.3	0.85
2	301.0	0.92
3	294.6	0.90
4	236.4	0.84
5	296.5	0.91

In der Abbildung B.1.1 sind die für die Umgebung der WEA resultierenden Treffer pro 16 Quadratmeter und Jahr dargestellt.



*Abbildung B.1.1: Trefferhäufigkeiten von Eisstücken pro Rasterfläche (16m<sup>2</sup>) und Jahr in der Umgebung der WEA 1 - 5 am Standort Ostervesede (Karte /1.4/).*



## B.2 Schadenshäufigkeiten

Aus den ermittelten Flugbahnen ergeben sich für die Gefährdungsbereiche der zu bewertenden WEA gemäß Kapitel 4.3 die in Tabelle B.2.1 aufgeführten Randbedingungen.

*Tabelle B.2.1: Randbedingungen für die Bewertung von Sach- bzw. Personenschäden am Standort Ostervesede.*

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Anzahl Treffer pro Jahr
1	Kreisstraße K236	0.004
	Straße „Siedlung Großenwede“	0.0
2	Kreisstraße K236	3.4
	öffentlich gewidmete Wege	0.02
3	Kreisstraße K236	4.2
4	Kreisstraße K236	0.2
5	Kreisstraße K236	0.0
	öffentlich gewidmete Wege	0.06

Für die Bewertung von Personenschäden wird davon ausgegangen, dass jedes Kfz im Mittel mit 1.5 Personen besetzt ist. Dies entspricht der durchschnittlichen Besetzungszahl von Pkw in Deutschland /1.6/. Eine infolge eines Treffers durch Eis resultierende Verkettung von Unfällen wurde nicht betrachtet.

Mit den genannten Ausführungen ergeben sich die in Tabelle B.2.2 aufgelisteten Unfallhäufigkeiten bzw. Risiken.

Das in Abhängigkeit von der Aufenthaltshäufigkeit von Personen zu betrachtende Risiko ist in Tabelle B.2.2 jeweils fett gedruckt.

Relevante Überschreitungen der Risikogrenzwerte gemäß Tabelle 2.8.3.1 bzw. Werte im ALARP-Bereich, die eventuell weitere Maßnahmen erfordern, sind in Tabelle B.2.2 jeweils kursiv gedruckt.



**Tabelle B.2.2:** Kollektive und individuelle Risiken für Personenschäden am Standort Ostervesede.

Lfd. Nr. WEA	Schutzobjekt	Kollektives Personenrisiko	Individuelles Personenrisiko
1	Kreisstraße K236	$4.38 \cdot 10^{-7}$ <b>(einmal in 2.2 Mio. Jahren)</b>	$7.29 \cdot 10^{-10}$ (einmal in 1.3 Mrd. Jahren)
2	Kreisstraße K236	$4.22 \cdot 10^{-4}$ <b>(einmal in 2300 Jahren)</b>	$7.04 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.4 Mio. Jahren)
	öffentlich gewidmete Wege	$7.29 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 13.7 Mio. Jahren)	$2.33 \cdot 10^{-9}$ <b>(einmal in 0.4 Mrd. Jahren)</b>
3	Kreisstraße K236	$5.25 \cdot 10^{-4}$ <b>(einmal in 1900 Jahren)</b>	$8.75 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 1.1 Mio. Jahren)
4	Kreisstraße K236	$2.28 \cdot 10^{-5}$ <b>(einmal in 43 000 Jahren)</b>	$3.79 \cdot 10^{-8}$ (einmal in 26.3 Mio. Jahren)
5	öffentlich gewidmete Wege	$1.77 \cdot 10^{-7}$ (einmal in 5.6 Mio. Jahren)	$5.67 \cdot 10^{-9}$ <b>(einmal in 0.1 Mrd. Jahren)</b>

# Technische Beschreibung

Sektormanagement

ENERCON Windenergieanlagen EP5

**Herausgeber** ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
Geschäftsführer: Momme Janssen, Jost Backhaus, Stefan Lütkemeyer, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle  
Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis** Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken** Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt** Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

#### Dokumentinformation

<b>Dokument-ID</b>	D02183384/0.1-de
<b>Vermerk</b>	Originaldokument

<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2021-02-11	de	DB	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

## Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines .....	4
2	Parametrierung der Sektoren .....	5
3	Durchfahren von Sektorgrenzen .....	6
4	Dokumentation .....	7



## 1 Allgemeines

Das Sektormanagement ist eine Standardfunktion der ENERCON Windenergieanlage, die die Windenergieanlage abhängig von Windgeschwindigkeiten und Gondelpositionen abregelt oder anhält (Trudelbetrieb).

Anwendungsmöglichkeiten des Sektormanagements:

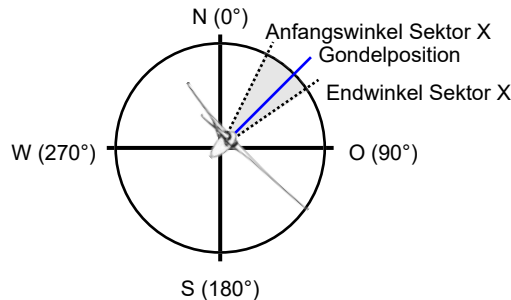
- Reduzierung von Turbulenzen, die von der Windenergieanlage erzeugt werden und zu unerwünschten Lasten an den sich in Windrichtung dahinter befindlichen Windenergieanlagen führen können (Wake-Effekt)
- Reduzierung von Belastungen der Windenergieanlage zum Schutz besonderer Objekte (z. B. Gasleitungen, Tanks)

Aufgrund der resultierenden Ertragseinbußen wird empfohlen, die Notwendigkeit des Sektormanagements standortbezogen zu prüfen.

## 2 Parametrierung der Sektoren

Ein Sektor wird durch einen Anfangs- und einen Endwinkel der Gondelposition sowie eine minimale und eine maximale Windgeschwindigkeit gebildet. Das Sektormanagement stellt 8 Sektoren zur Verfügung.

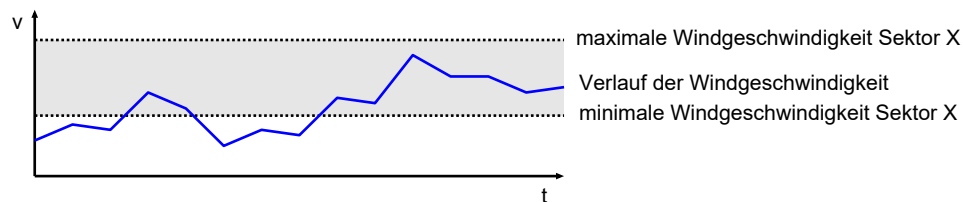
### Anfangs- und Endwinkel eines Sektors



**Abb. 1: Anfangs- und Endwinkel eines Sektors**

Die Anfangs- und Endwinkel der Gondelposition jedes Sektors können zwischen  $0^\circ$  und  $359^\circ$  in  $1^\circ$ -Schritten parametrierbar sein. Der Bereich zwischen Anfangs- und Endwinkel wird im Uhrzeigersinn gebildet.

### Minimale und maximale Windgeschwindigkeit eines Sektors



**Abb. 2: Minimale und maximale Windgeschwindigkeit eines Sektors**

Die minimale und maximale Windgeschwindigkeit jedes Sektors kann zwischen  $0 \text{ m/s}$  und  $100 \text{ m/s}$  in  $0,1\text{-m/s}$ -Schritten parametrierbar sein. Die Differenz zwischen minimaler und maximaler Windgeschwindigkeit eines Sektors muss mindestens  $1 \text{ m/s}$  betragen.

### Begrenzen der Leistung

Für jeden parametrierbaren Sektor kann eine maximale Leistung (Wirkleistung) parametrierbar sein, die die Windenergieanlage nicht überschreiten soll.

### Deaktivieren einzelner Sektoren

Sind der Anfangs- und der Endwinkel eines Sektors auf den gleichen Wert (vorzugsweise  $0^\circ$ ) eingestellt, ist der Sektor deaktiviert.

### 3 Durchfahren von Sektorgrenzen

Die Windenergieanlage wird abgeregelt bzw. angehalten, wenn die Gondelposition innerhalb eines parametrisierten Gondelpositionsbereichs liegt und der gleitende Mittelwert der Windgeschwindigkeit über einen Zeitraum von 10 Minuten innerhalb des parametrisierten Windgeschwindigkeitsbereichs liegt.



Der gleitende 10-Minuten-Mittelwert der Windgeschwindigkeit wird jede Minute neu gebildet. Die Auswertung der Windgeschwindigkeit und der Gondelposition erfolgt im Sekundentakt.

Verlässt die Windenergieanlage den Sektor, wird die Abregelung erst nach Ablauf von 60 s, das Anhalten erst nach Ablauf von 10 min (parametrierbar) aufgehoben. Auf diese Weise wird verhindert, dass die Windenergieanlage z. B. bei böigen Windverhältnissen ständig zwischen normalem und abgeregeltem Betrieb wechselt.

Überschneiden sich Sektoren, werden die kleinste maximale Leistung und der größte minimale Blattwinkel übernommen, die für die jeweilige Gondelposition gelten, d. h. die Windenergieanlage kann gleichzeitig in der Leistung und im Blattwinkel abgeregelt sein.



Das Sektormanagement hält die Windenergieanlage nicht während einer Turmkabelentdrillung und auch nicht während einer Positionierung der Gondel bei Eisansatz an, da die Windenergieanlage dann bereits angehalten ist und die Windrichtung nicht mehr mit der Gondelposition übereinstimmt.

Um Leistungssprünge beim Durchfahren der Sektorgrenzen zu verhindern, sind Leistungsgradienten definiert. Sie gelten für alle Sektoren.

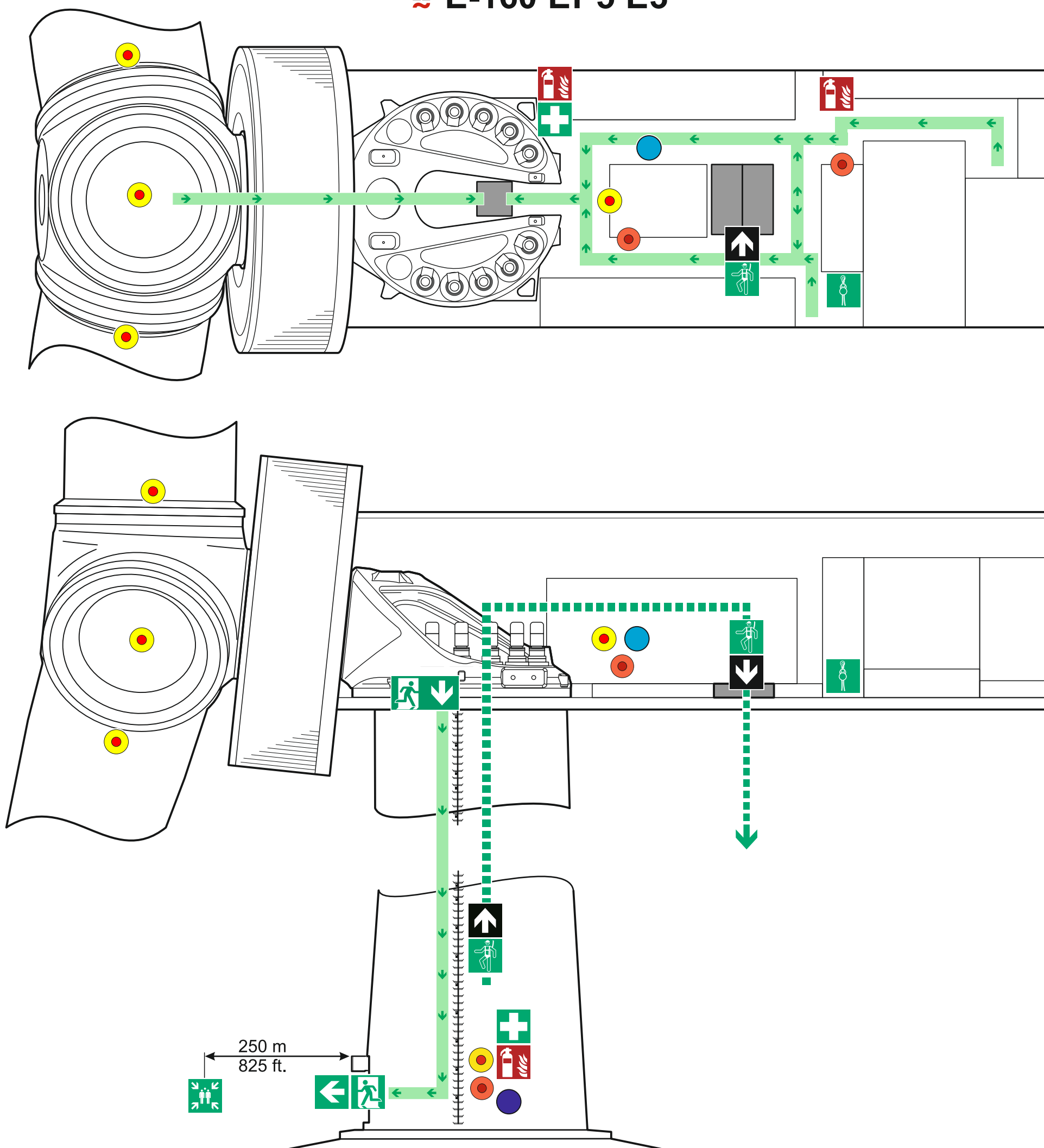
## **4 Dokumentation**

Für jeden der 8 Sektoren wird aufgezeichnet, wie lange die Windenergieanlage im jeweiligen Sektor war. Die Daten können auf Wunsch zur Verfügung gestellt werden.

# Flucht- und Rettungsplan WEA Escape and rescue plan WEC

SAP 635570

## E-160 EP5 E3



### Legend

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Fire extinguishers                          | Meeting point (outside WEC)      |
| First aid kit                               | Emergency exit                   |
| Alternative escape route with rescue device | Direction (fastest escape route) |
| Rescue equipment                            | Direction (fire in tower base)   |
| Transformer Emergency switching off         | Your location Nacelle            |
| EMERGENCY STOP button                       | Your location Tower base         |

The positioning of the pictograms is not true to scale!

### Legende

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| Feuerlöscher                             | Sammelpunkt (außerhalb WEA)  |
| Erste-Hilfe-Kasten                       | Notausgang                   |
| Alternativer Fluchtweg mit Rettungsgerät | Richtung (schnellste Flucht) |
| Rettungsausrüstung                       | Richtung (Feuer im Turmfuß)  |
| NOT-HALT-Taster                          | Ihr Standort Gondel          |
| Transformator NOT-AUS                    | Ihr Standort Turmfuß         |

Die Positionierung der Piktogramme ist nicht maßstabsgerecht!

## Behavior in case of emergency

### Keep calm!

#### 📞 Call for help:

- What happened?
- Where did it happen?
- How many people are injured?
- What types of injuries occurred?
- Follow instructions, wait for queries.

#### 🚑 Immediate measures:

- Alert others
- Provide first aid
- Eliminate hazards



#### Attempt to extinguish the fire

If possible, press emergency stop button and disconnect WEC from grid

**Move to a safe location**

## Verhalten im Notfall

### Ruhe bewahren!

#### 📞 Hilfe rufen:

- Wo ist es passiert?
- Was ist passiert?
- Wie viele Verletzte gibt es?
- Welche Arten von Verletzungen liegen vor?
- Anweisungen beachten, auf Rückfragen warten.

#### 🚑 Sofortmaßnahmen:

- Andere alarmieren
- Gefahren beseitigen
- Erste Hilfe leisten



#### Löschversuch unternehmen

Wenn möglich, Not-Halt Taster drücken und die Anlage freischalten

**In Sicherheit bringen**

ID0X11

SAP 1016397

**INGENIEURKAMMER NIEDERSACHSEN**  
Körperschaft des öffentlichen Rechts



---

**AUSWEIS**

Nur gültig in Verbindung mit einem amtlichen Personalausweis oder Paß

Herr Dipl.-Ing. (FH)

**Roman Wagner vom Berg**

geboren am 27. 06. 1965

ist unter der Nr. 3168 in die

**Liste der Entwurfsverfasserinnen und Entwurfsverfasser  
der Fachrichtung Bauingenieurwesen**

eingetragen.



Hannover, den 30. 07. 1996

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'm. wagner', written in a cursive style.

Präsident