

# Spezifikation

**ENERCON Standard 1**

**E-126 EP3**

**4000 kW**

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, 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>     | PLM-EWES-SP029 S1 E-126 EP3 4000 kW-Rev002ade-de |            |   |
| <b>Vermerk</b>         | Originaldokument                                 |            |   |
| <b>Vertraulichkeit</b> | NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG              |            |   |
| <b>Datum</b>           | <b>Sprache</b>                                   | <b>DCC</b> | <b>Werk / Abteilung</b>                   |
| 2018-06-29             | de   | DB         | ENERCON PLM GmbH / EW-Engineering Support |

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

Technische Änderungen vorbehalten.

---

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

---

### Mitgeltende Dokumente

Der aufgeführte Dokumenttitel ist der Titel des Sprachoriginals, ggf. ergänzt um eine Übersetzung dieses Titels in ( ). Die Dokument-ID bezeichnet stets das Sprachoriginal. Enthält die Dokument-ID keinen Revisionsstand, gilt der jeweils neueste Revisionsstand des Dokuments.

### Übergeordnete Normen und Richtlinien

| Dokument-ID           | Dokument  |
|-----------------------|---|
| IEC 60076-1:2011-04   | Leistungstransformatoren - Teil 1: Allgemeines  |
| IEC 60076-10:2016-03  | Leistungstransformatoren - Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel  |
| IEC 60076-13:2006-05  | Leistungstransformatoren - Teil 13: Selbstgeschützte flüssigkeitsgefüllte Transformatoren   |
| IEC 60076-14:2013-09  | Leistungstransformatoren - Teil 14: Flüssigkeitsgefüllte Leistungstransformatoren mit Hochtemperatur- Isolierstoffen  |
| IEC 60076-16:2011-08  | Leistungstransformatoren - Teil 16: Transformatoren für Windenergieanlagen-Anwendungen  |
| IEC 60076-2:2011-02   | Leistungstransformatoren - Teil 2: Übertemperaturen für flüssigkeitsgefüllte Transformatoren  |
| IEC 60076-3:2013-07   | Leistungstransformatoren - Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft  |
| IEC 60076-4:2002-06   | Leistungstransformatoren - Teil 4: Leitfaden zur Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfung von Leistungstransformatoren und Drosselspulen                             |
| IEC 60076-5:2006-02   | Leistungstransformatoren - Teil 5: Kurzschlußfestigkeit   |
| IEC 60076-7:2005-12   | Leistungstransformatoren - Teil 7: Belastungsrichtlinie für ölgefüllte Leistungstransformatoren   |
| IEC 61099:2010-08     | Isolierflüssigkeiten - Anforderungen an neue synthetische organische Ester für elektrotechnische Zwecke   |
| IEC 62271-200:2015-06 | Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen - Teil 200: Metallgekapselte Wechselstrom-Schaltanlagen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV |

Technische Änderungen vorbehalten.

### Zugehörige Dokumente

| Dokument-ID  | Dokument  |
|--------------|---|
| PLM-GS-DC003 | Technische Beschreibung Anschluss von LWL-Kabeln in ENERCON Windparks |
| PM-EW-DC017  | Technische Information Elektrischer Anschluss von Windenergieanlagen  |

NUR ZUR PROJEKT-INTERNEN VERWENDUNG

## Inhaltsverzeichnis

|         |   |    |
|---------|---|----|
|         | Mitgeltende Dokumente.....                            | 4  |
| 1       | Einleitung.....                                       | 7  |
| 2       | Aufbau der turmintegrierten Transformatorstation..... | 8  |
| 3       | Liefergrenzen.....                                    | 9  |
| 4       | Beschreibung der elektrotechnischen Komponenten.....  | 11 |
| 4.1     | Stromwandler.....                                     | 11 |
| 4.1.1   | Energiemessung.....                                   | 11 |
| 4.2     | Transformator.....                                    | 11 |
| 4.2.1   | Transformatorschutz.....                              | 12 |
| 4.3     | Mittelspannungsschaltanlage.....                      | 14 |
| 4.3.1   | Technische Daten der MS-Schaltanlage.....             | 15 |
| 4.3.2   | Bedienung MS-Schaltanlage.....                        | 16 |
| 4.3.3   | Optionale Konfiguration.....                          | 17 |
| 4.3.3.1 | Schlüsselverriegelung.....                            | 17 |
| 4.3.3.2 | Automatische Wiedereinschaltung.....                  | 17 |

Technische Änderungen vorbehalten.

## Abkürzungsverzeichnis

### Abkürzungen

|            |  |
|------------|--|
| <b>ARS</b> | Automatic Reclosing System (Automatische Wiedereinschaltung der Mittelspannungsschaltanlage) |
| <b>EWM</b> | Electrical Works Manager (Projektleiter elektrische Gewerke)                                 |
| <b>FT</b>  | FACTS Transmission (elektrische Konfiguration mit FACTS-Eigenschaften)                       |
| <b>IEC</b> | International Electrotechnical Commission (Internationale Elektrotechnische Kommission)      |
| <b>MS</b>  | Mittelspannung   |
| <b>NAP</b> | Netzanschlusspunkt   |
| <b>NS</b>  | Niederspannung   |
| <b>OS</b>  | Oberspannung   |
| <b>TIT</b> | Turmintegrierte Transformatorstation   |
| <b>WEA</b> | Windenergieanlage  |
| <b>WHG</b> | Wasserhaushaltsgesetz  |
| <b>WP</b>  | Windpark   |

### Größen, Einheiten, Formeln

|                       |                     |
|-----------------------|---------------------|
| <b>SF<sub>6</sub></b> | Schwefelhexafluorid |
|-----------------------|---------------------|

Technische Änderungen vorbehalten.

## 1 Einleitung

Eine externe Transformatorstation am Turmfuß außerhalb der WEA ist damit nicht erforderlich. Alle Netzanschlusskomponenten der WEA wie Transformator und MS-Schaltanlage sind im Turm installiert.

ENERCON verfolgt seit 2002 erfolgreich das Konzept der turmintegrierten Transformatorstation. Dieses Konzept wurde im Laufe der Jahre, vor allem in sicherheitstechnischer Hinsicht, aber auch im qualitativen Bereich immer weiter entwickelt und ist weltweit die von Kunden und Genehmigungsbehörden favorisierte Lösung für Transformatorstationen.

### Vorteilhafte Aspekte der Standard 1 Ausführung:

■ **Höchste Bedienersicherheit:**

Die Konstruktion der TiT bietet ein hohes Maß an Sicherheit für den Bediener. So werden u. a. die MS-Schaltanlagen mit einem Druckentlastungskanal oder einem Störlightbogenbegrenzer ausgestattet und aktive Leiter berührungssicher abgedeckt bzw. abgeschottet. Die MS-Schaltanlage ist mit einem Motorantrieb für den Transformator-schalter ausgerüstet. Mittels einer Fernbedienung wird der Transformator abgeschaltet, bevor der Bediener den Mittelspannungsraum betritt. Elektrische und mechanische Verriegelungen verringern das Risiko für Fehlschaltungen.

■ **Hoher Wirkungsgrad:**

Durch kurze Kabelwege, insbesondere durch Einsparung der NS-Kabelverbindungen zu einer möglichen externen Transformatorstation, können die Kabelverluste reduziert werden. ENERCON installiert zudem Transformatoren mit reduzierten Leerlauf- und Kurzschlussverlusten.

■ **Einfache und schnelle Installation auf der Baustelle:**

Signifikante Reduzierung der Baumaßnahmen im Vergleich zur Aufstellung einer externen Transformatorstation (ENERCON Standard 3).

■ **Reduktion der beanspruchten Fläche:**

Kein zusätzlicher Platzbedarf für eine externe Transformatorstation sowie für breite Kabelgräben für die Verlegung von NS-Kabeln.

■ **Umweltfreundliche Installation:**

Die Transformatoren sind mit biologisch abbaubaren Kühlflüssigkeiten gefüllt. Zusätzlich wird eine für Öl undurchlässige Wanne unterhalb des Transformators eingebaut.

## 2 Aufbau der turmintegrierten Transformatorstation

Das E-Modul im Turm besteht aus mehreren Ebenen. Auf den unterschiedlichen Ebenen befinden sich die MS-Schaltanlage, der Transformator, der Steuerschrank sowie die Leistungsschränke.

Es gibt Unterschiede bei der Ausführung der E-Module. Der exakte Aufbau sowie die Größe der E-Module hängen vom WEA-Typ, von der Turmhöhe und vom Turmdurchmesser ab.

Technische Änderungen vorbehalten.

### 3 Liefergrenzen

Bereits in der Initiierungsphase müssen die Liefergrenzen klar definiert werden, um Missverständnisse in den Zuständigkeiten oder Fehlteile und damit eine mögliche Verzögerung der Inbetriebnahme der WEA zu vermeiden.

Entsprechend diesem ENERCON Standard liefert ENERCON die notwendigen Komponenten bis zur Liefergrenze (siehe Abb. 1, S. 10) und installiert diese.

Der Anschluss der MS-Stecker an den Kabelfeldern der MS-Schaltanlage, so wie die MS-Stecker selbst, sind nicht im Lieferumfang von ENERCON enthalten. Diese Anschlussarbeiten müssen durch ein qualifiziertes Elektrofachunternehmen im Rahmen der Windparkverkabelung durchgeführt werden.

Für nähere Informationen zum Anschluss der ENERCON WEA können folgende Dokumente angefordert werden:

- PM-EW-DC017 „Technische Information Elektrischer Anschluss von Windenergieanlagen“
- PLM-GS-DC003 „Technische Beschreibung Anschluss von LWL-Kabeln in ENERCON Windparks“

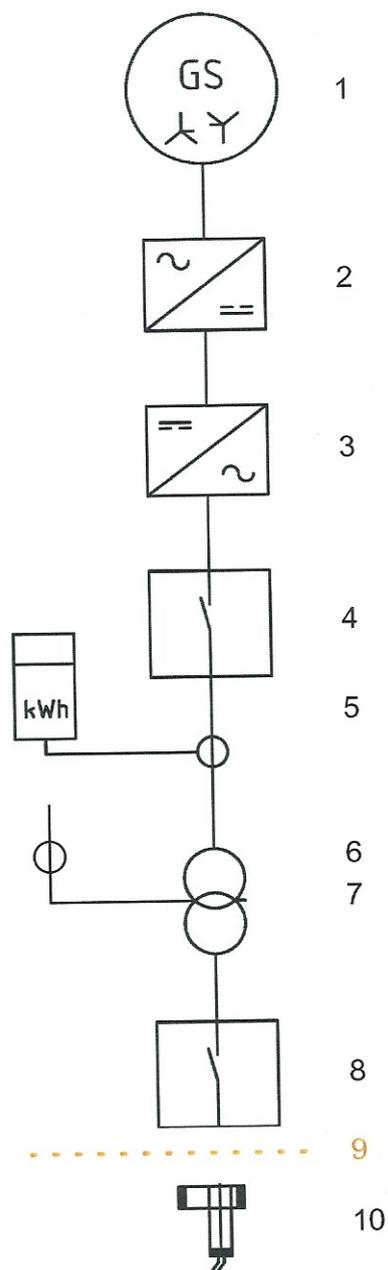


Abb. 1: Prinzipschaltbild ENERCON WEA Standard 1

- |                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| 1 Generator       | 6 Fehlerstromerkennungswandler |
| 2 Gleichrichter   | 7 Transformator                |
| 3 Wechselrichter  | 8 MS-Schaltanlage              |
| 4 NS-Schaltanlage | 9 Grenze des Lieferumfangs     |
| 5 NS-Zähler       | 10 MS-Stecker                  |

## 4 Beschreibung der elektrotechnischen Komponenten

### 4.1 Stromwandler

#### 4.1.1 Energiemessung

Für die Messung der von der WEA erzeugten Leistung / Energie werden Stromwandler installiert.

### 4.2 Transformator

Der Transformator überträgt die von der WEA bei 400 V Ausgangsspannung erzeugte elektrische Leistung in das mittelspannungsseitige Windparknetz.

ENERCON installiert ausnahmslos Öl-Hermetik-Transformatoren.

Es gibt vielfältige Gründe für den Einsatz von Öl-Hermetik-Transformatoren, u. a.:

- Hohe Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Belastungen
- Gute Wärmeableitung
- Kompaktes, berührungssicheres Gehäuse
- Geringe Leerlaufverluste
- Geringe Störanfälligkeit gegen Überlast und Wechselbelastungen

Bereits in der Initiierungsphase muss die Netzspannung/-frequenz am Einspeisepunkt beim zuständigen Energieversorger erfragt und ENERCON mitgeteilt werden, um die Transformatoren für die richtige Mittelspannung und Netzfrequenz bestellen zu können. Bei Hochspannungsanschlüssen ist die Niederspannung des Leistungstransformators (Spannung im WP-Netz) maßgeblich für die Mittelspannung des WEA Transformators.



Der Wert der Netzspannung/-frequenz im Windpark muss im Anlagenliefervertrag festgehalten werden.

Eine Zinkflockenbeschichtung verbunden mit einer Deckschicht aus Wasserlack RAL 7033 schützt den Transformator-Kessel vor Korrosion.

Der Transformator steht in einer nach WHG zertifizierten Ölwanne, welche für das komplette Flüssigkeitsvolumen des Transformators ausgelegt ist.

Als Isolations- und Kühlungsflüssigkeit des Transformators wird synthetisches Ester eingesetzt, welches als „nicht wassergefährdend“ eingestuft ist und einen Brennpunkt von  $\geq 300$  °C aufweist (Kühlmittelart K3 nach IEC 61099).

Das Risiko eines Transformatorbrandes ist bei diesem Transformator als sehr gering einzustufen, da sich der hermetisch geschlossene Kessel bei einem inneren Fehler öffnen müsste, damit Sauerstoff zugeführt werden kann. Das Öffnen des Transformator-Kessels wird durch ein umfangreiches, redundantes Schutzsystem sicher verhindert.

Tab. 1: Transformatordaten

| Parameter                           | Wert  |
|-------------------------------------|---|
| Nennleistung FT (kVA)               | 4500  |
| Typ                                 | Step-Up Transformator für Windenergieanlagen  |
| Nennfrequenz (Hz)                   | Entsprechend Netzfrequenz   |
| Nennspannung OS-Seite (kV)          | Entsprechend Netzspannung am NAP bzw. Netzspannung im Windpark bei Hochspannungsanschlüssen |
| Umstellerausführung                 | Off load  |
| Umgebungstemperatur (°C)            | - 25 bis + 50   |
| Kühl- / Isoliermedium               | Synthetisches Ester   |
| Max. Installationshöhe über NN (m)  | 1000  |
| Schallleistungspegel $L_w$ in dB[A] | ≤ 78  |
| Betriebsart                         | Dauerbetrieb  |
| Erfüllte Standards                  | Anwendbare Teile der IEC 60076 (siehe Kapitel Mitgeltende Dokumente)                        |

Technische Änderungen vorbehalten.

#### 4.2.1 Transformatorschutz

Die von ENERCON installierten Transformatoren verfügen über ein umfassendes Schutzsystem. Der Transformatorschutz setzt sich wie folgt zusammen:

- Überstrom- und Kurzschlusschutz auf der MS-Seite des Transformators
- Kurzschlusschutz auf der Niederspannungsseite des Transformators
- Analoger Temperatursensor
- Öldruckwächter
- Ölniveauschalter

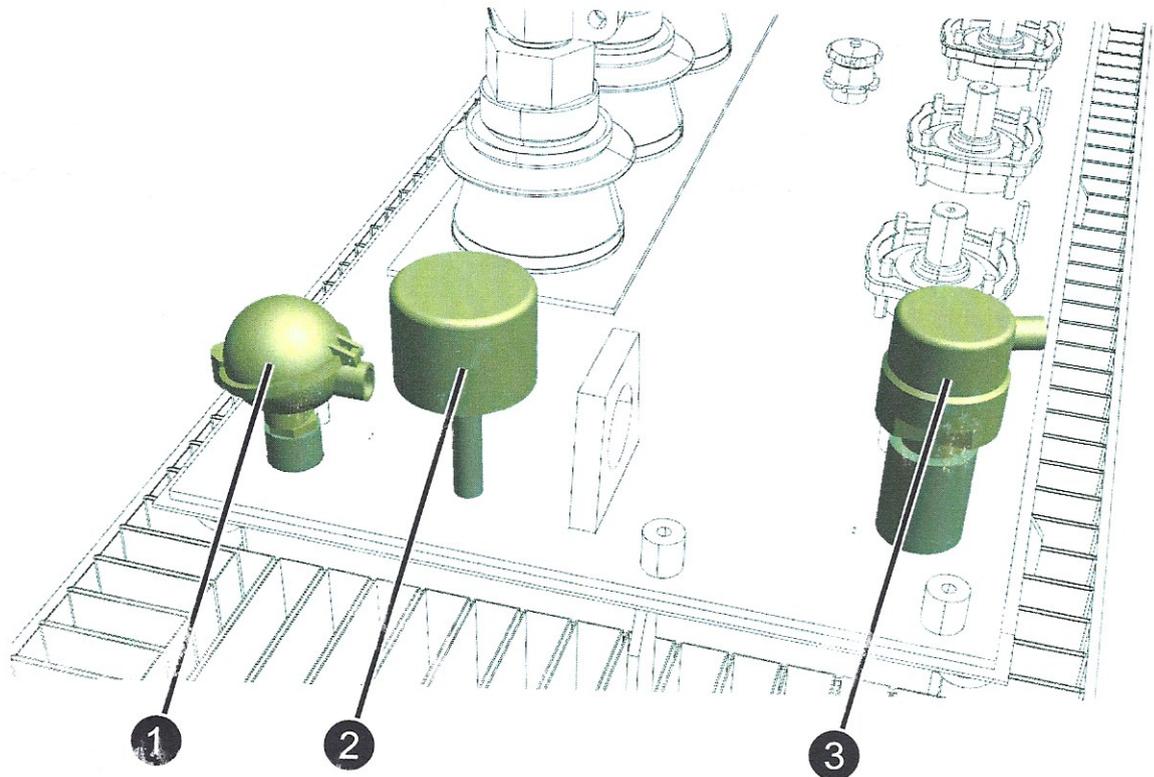


Abb. 2: Beispielhafte Ansicht der Transformatorschutzsensoren

- 1 Temperatursensor
- 2 Öldruckwächter
- 3 Ölniveauschalter

Ölniveauschalter und Öldruckwächter wirken über den Steuerschrank Transformator indirekt auf den MS-Transformatorschalter.

**Erläuterung der Schutzfunktion:**

- Der Überstrom- und Kurzschlusschutz auf der MS-Seite wirkt direkt auf den MS-Transformatorschalter.
- Der Niederspannungsschutz schützt den Leistungsschrank, den Transformator und die NS-Kabel zwischen NS-Verteilung und den Leistungsschränken bei einem inneren Kurzschluss im Leistungsschrank.
- Die zweistufige Temperaturüberwachung wird mittels temperaturabhängigen Widerstands in der Thermometertasche des Transformators ausgeführt. Bei Erreichen der Warnschwelle wird die Ausgangsleistung der WEA reduziert. Bei Erreichen der Abschaltchwelle wird die WEA abgeschaltet. So wird eine Transformatorüberlastung verhindert.
- Öldruckwächter und Ölniveauschalter wirken über den Steuerschrank Transformator indirekt auf eine Auslösespule am MS-Transformatorschalter.

Technische Änderungen vorbehalten.

### 4.3 Mittelspannungsschaltanlage

ENERCON installiert ausschließlich SF<sub>6</sub>-isolierte Schaltanlagen, wenn nicht anders vereinbart. Die Aspekte für diese Wahl sind:

- Hohe Lebensdauer
- Hohe Bedienersicherheit
- Sehr guter Schutz gegen Umwelteinflüsse
- Kompakte, geschlossene Bauart
- Geringer Wartungsaufwand

Alle von ENERCON installierten SF<sub>6</sub>-isolierten MS-Schaltanlagen werden inkl. Anbauten im Rahmen des ENERCON-Präqualifikationsverfahrens auf Erfüllung der ENERCON-Spezifikationskriterien überprüft und für den Einbau zugelassen. Teil des Präqualifikationsverfahrens ist die Durchführung einer praktischen Typenprüfung der kompletten Anlagenkonfiguration zur Einhaltung der IEC 62271-200.

Die von ENERCON installierten MS-Schaltanlagen erhalten einen Druckentlastungskanal, der mit der MS-Schaltanlage verbunden wird. Im Fall eines internen Fehlers wird der entstehende Gasdruck über eine Sollbruchstelle (Berstscheibe) entlastet. Das Öffnen der Berstscheibe erfolgt nur, wenn der durch den Fehler aufgebrauchte Energieinhalt groß genug ist, um die Berstscheibe zu zerstören. Praktische Erfahrungen zeigen, dass die aufgebrauchte Energie ( $I^2 \cdot t$ ) in den allermeisten Fällen nicht ausreicht, um Gas austreten zu lassen. Ein gegebenenfalls austretendes Gasgemisch wird im Druckentlastungskanal abgekühlt und entspannt. Der verbleibende Gasdruck kann über den Kanal in einen unkritischen, vom Bediener abgewandten Bereich entweichen.

Bei einem Fehler im Kabelanschlussraum wird der entstehende Druck ebenfalls über den Sockel in den Druckentlastungskanal geleitet.



Abb. 3: Beispiel für 2- und 3-feldige MS-Schaltanlage

### 4.3.1 Technische Daten der MS-Schaltanlage

Tab. 2: Technische Daten der Mittelspannungsschaltanlage

| Bemessungsspannung $U_r$ [kV]  | 24  | 36                |
|--|-----|-------------------|
| Nennfrequenz [Hz]  |     | 50 / 60           |
| Anzahl Schaltfelder  | 3   | 2                 |
| Isoliermedium  |     | SF <sub>6</sub>   |
| Bauart   |     | Kompakt           |
| Betriebsart  |     | Dauerbetrieb      |
| Bemessungs-Betriebsstrom der Sammelschiene $I_r$ [A] $\geq$              |     | 630               |
| Transformatorfeld / Transformatorschutz                                  |     | Leistungsschalter |
| Bemessungs-Kurzzeitstrom $I_k$ [kA] $\geq$                               |     | 16                |
| Bemessungs-Kurzschlussdauer $t_k$ [t] $\geq$                             |     | 1                 |
| Bemessungs-Kurzschlusseinschaltstrom $I_{no}$ [kA] $\geq$                |     | 50                |
| Bemessungs-Kurzzeit-Stehwechselspannung $U_d$ Leiter - Erde [kV] $\geq$  | 50  | 70                |
| Bemessungs-Stehblitzstoßspannung $U_p$ Leiter - Erde [kV] $\geq$         | 125 | 170               |
| Bemessungs-Stehblitzstoßspannung $U_p$ über die Trennstrecke [kV] $\geq$ | 145 | 190               |

Für weitere Informationen bzw. Fragen zu Betriebsspannungen > 36 kV kann der zuständige EWM kontaktiert werden.

Technische Änderungen vorbehalten.

#### 4.3.2 Bedienung MS-Schaltanlage

Zur Optimierung der Bedienersicherheit installiert ENERCON in der WEA den Steuerungsschrank Transformator mit integrierter Fernschalteinrichtung für den MS-Transformatorschalter. Diese Fernbedienung ermöglicht das Ein- und Ausschalten des MS-Transformatorschalters innerhalb der WEA auf der Eingangsebene von außerhalb der turmintegrierten Transformatorstation. Der MS-Transformatorschalter erhält einen Motorantrieb und eine Auslösespule, um das Ein- und Ausschalten zu ermöglichen.

Die Fernbedienung ist mit einem Vorhängeschloss gesichert, so dass die Bedienung nur durch schaltberechtigtes Personal erfolgen kann.

Bei Gasverlust fällt der Zeiger des Manometers in den "roten" Bereich. In diesem Fall darf die Schaltanlage nicht mehr betätigt werden. Das unterwiesene und schaltberechtigte ENERCON Personal hat Anweisung, dass vor allen Schaltmaßnahmen der Gasdruck zu kontrollieren ist. In die Schaltung des Transformatorschalters ist eine elektrische Verriegelung zur Verhinderung des Schaltvorganges bei zu geringem Gasdruck integriert.

ENERCON Personal ist verpflichtet, den Transformator auszuschalten bevor die TiT betreten wird.

Schaltvorgänge an den Kabelfeldern der MS-Schaltanlage können lediglich manuell unter Berücksichtigung der 5 Sicherheitsregeln und bestimmungsgemäßer Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung durchgeführt werden. Diese dürfen nur von geschultem ENERCON-Fachpersonal durchgeführt werden.

### 4.3.3 Optionale Konfiguration

#### 4.3.3.1 Schlüsselverriegelung

Auf Anfrage kann ENERCON die MS-Schaltanlagen mit einer zusätzlichen Schlüsselverriegelung ausrüsten. Mit Hilfe der Schlüsselverriegelung können Schaltfelder bzw. Schalter unterschiedlicher MS-Schaltanlagen in unterschiedlichen WEA gegeneinander verriegelt werden. So ist es möglich, eine genau definierte Reihenfolge beim Zu- und Abschalten von MS-Schaltanlagen vorzugeben. In einigen Ländern fordern Kunden und / oder Netzbetreiber diese Option aufgrund von landesspezifischen Richtlinien.

#### 4.3.3.2 Automatische Wiedereinschaltung

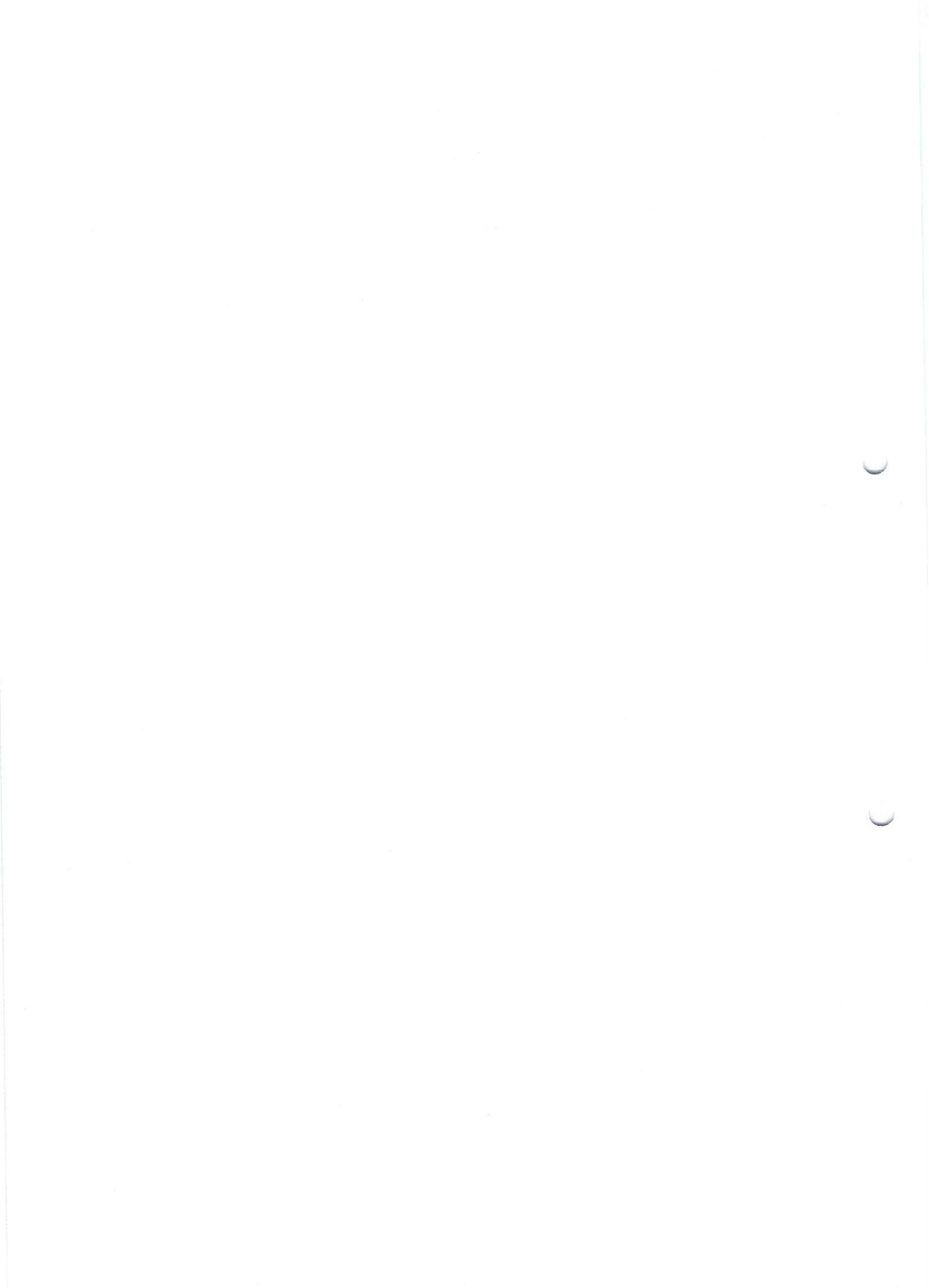
Auf Anfrage kann ENERCON die MS-Schaltanlagen mit einem elektrischen System für die zeitlich gestaffelte automatische Wiedereinschaltung (ARS) des MS-Transformatorschalters nach Netzspannungsausfall liefern. Das elektrische System zur automatischen Wiedereinschaltung besteht im Wesentlichen aus folgenden Komponenten:

- Spannungserkennungssystem
- Steuerung

In manchen Netzen ist es nötig, MS-Schalter nach Netzfehlerklärung automatisch wieder einzuschalten. Die Realisierung der zeitlich gestaffelten automatischen Wiedereinschaltung basiert auf der Forderung des zuständigen Verteilnetzbetreibers, wonach hohe Transformator-einschaltströme und die damit verbundenen kurzzeitigen Spannungseinbrüche während der Zuschaltung von WEA-Transformatoren zu vermeiden sind.

Nach Netzausfall >10 s in dem zugehörigen Windpark werden automatisch alle MS-Transformatorschalter in den mit ARS ausgerüsteten MS-Schaltanlagen ausgelöst.

Die wiederkehrende Spannung wird mittels Spannungserkennungssystem im Kabelfeld der MS-Schaltanlage erfasst. Das Spannungserkennungssystem erteilt die Freigabe für die zeitlich gestaffelte Wiedereinschaltung des MS-Transformatorschalters. So wird die gleichzeitige Einschaltung mehrerer Transformatoren und der damit verbundene hohe Einschaltstrom verhindert.



# Technische Beschreibung

**ENERCON Windenergieanlagen**  
**Hinterkantenkamm**  
(engl. Trailing Edge Serration-TES)

**Impressum**
**Herausgeber**

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

**Urheberrechtshinweis**

Die Inhalte dieses Dokumentes sind urheberrechtlich durch das deutsche Urheberrechtsgesetz sowie durch internationale Verträge geschützt.  
 Sämtliche Urheberrechte an den Inhalten dieses Dokumentes liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Urheber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.  
 Dem Nutzer werden durch die Bereitstellung der Inhalte keine gewerblichen Schutzrechte, Nutzungsrechte oder sonstigen Rechte eingeräumt oder vorbehalten. Dem Nutzer ist es untersagt, für das Know-how oder Teile davon Rechte gleich welcher Art anzumelden.  
 Die Weitergabe, Überlassung und sonstige Verbreitung der Inhalte dieses Dokumentes an Dritte, die Anfertigung von Kopien, Abschriften und sonstigen Reproduktionen sowie die Verwertung und sonstige Nutzung sind – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung des Urhebers untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten. Verstöße gegen das Urheberrecht sind rechtswidrig, gem. §§ 106 ff. Urheberrechtsgesetz strafbar und gewähren den Trägern der Urheberrechte Ansprüche auf Unterlassung und Schadensersatz.

**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> | D0310012-1       |            |                                 |
| <b>Vermerk</b>     | Originaldokument |            |                                 |
| <b>Datum</b>       | <b>Sprache</b>   | <b>DCC</b> | <b>Werk / Abteilung</b>         |
| 2014-10-21         | ger              | DA         | WRD GmbH / Technische Redaktion |

## Beschreibung des Hinterkantenkamms

### Einleitung

Auf der Saug- und Druckseite des Rotorblatts herrschen unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten. Dadurch kommt es an der Hinterkante zu Turbulenzen und der Geräuschpegel im Anlagenbetrieb steigt an.

Um diesen Geräuschpegel zu senken, wird ein Zackenprofil an der Endkante montiert. Dieses Profil wird als Hinterkantenkamm (engl. **Trailing Edge Serration**) bezeichnet.

### Akustische Emission

Die bedeutendste Ursache für den Strömungslärm ist die sich an der Oberfläche der Rotorblätter ausbildende turbulente Grenzschicht, in der sich Turbulenzballen bilden, siehe Abb. 1, S. 1. Treffen die Turbulenzballen auf die Hinterkante, produzieren sie entsprechend ihrer Größe Druckschwankungen, die als breitbandige aerodynamische Geräusche abstrahlen.

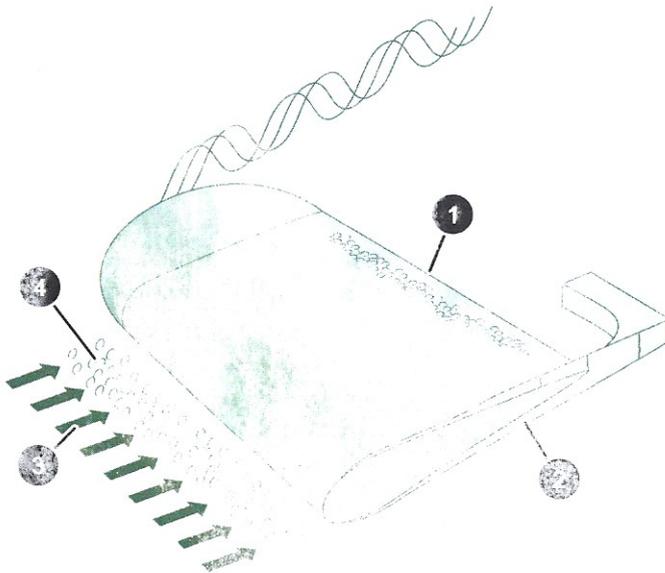


Abb. 1: Schematische Darstellung der Strömung am Rotorblatt

- |                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 Turbulenzballen an der Hinterkante | 3 Anströmung                        |
| 2 Grenzschicht                       | 4 Turbulenzballen in der Anströmung |

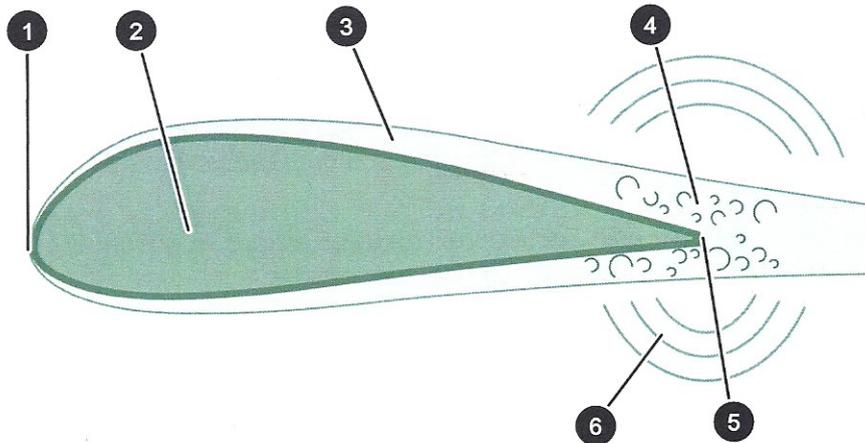


Abb. 2: Prinzipieller Mechanismus des Hinterkantengeräuschs

|                               |                            |
|-------------------------------|----------------------------|
| 1 Vorderkante                 | 4 turbulente Grenzschicht  |
| 2 Querschnitt des Rotorblatts | 5 Hinterkante              |
| 3 Grenzschicht                | 6 Emission der Hinterkante |

### Reduzierung der akustischen Emission

Eine gezähnte Verlängerung der Hinterkante reduziert die akustische Emission, indem die Turbulenzballen an den Zahnflanken wirkungsvoll in kleinere Turbulenzballen aufgebrochen werden. Die Stärke der Druckschwankungen wird reduziert, was zu einer verminderten akustischen Abstrahlung führt. Da die Intensität der Schallabstrahlung erheblich von der lokalen Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist, werden Hinterkantenkämme nur im äußeren Rotorblattbereich angebracht, wo die Rotationsgeschwindigkeit am größten ist.

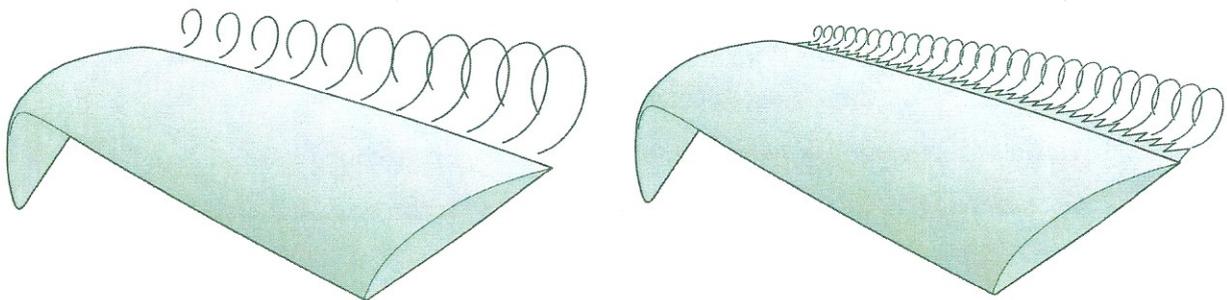


Abb. 3: Schematische Darstellung der Wirkung des Hinterkantenkamms

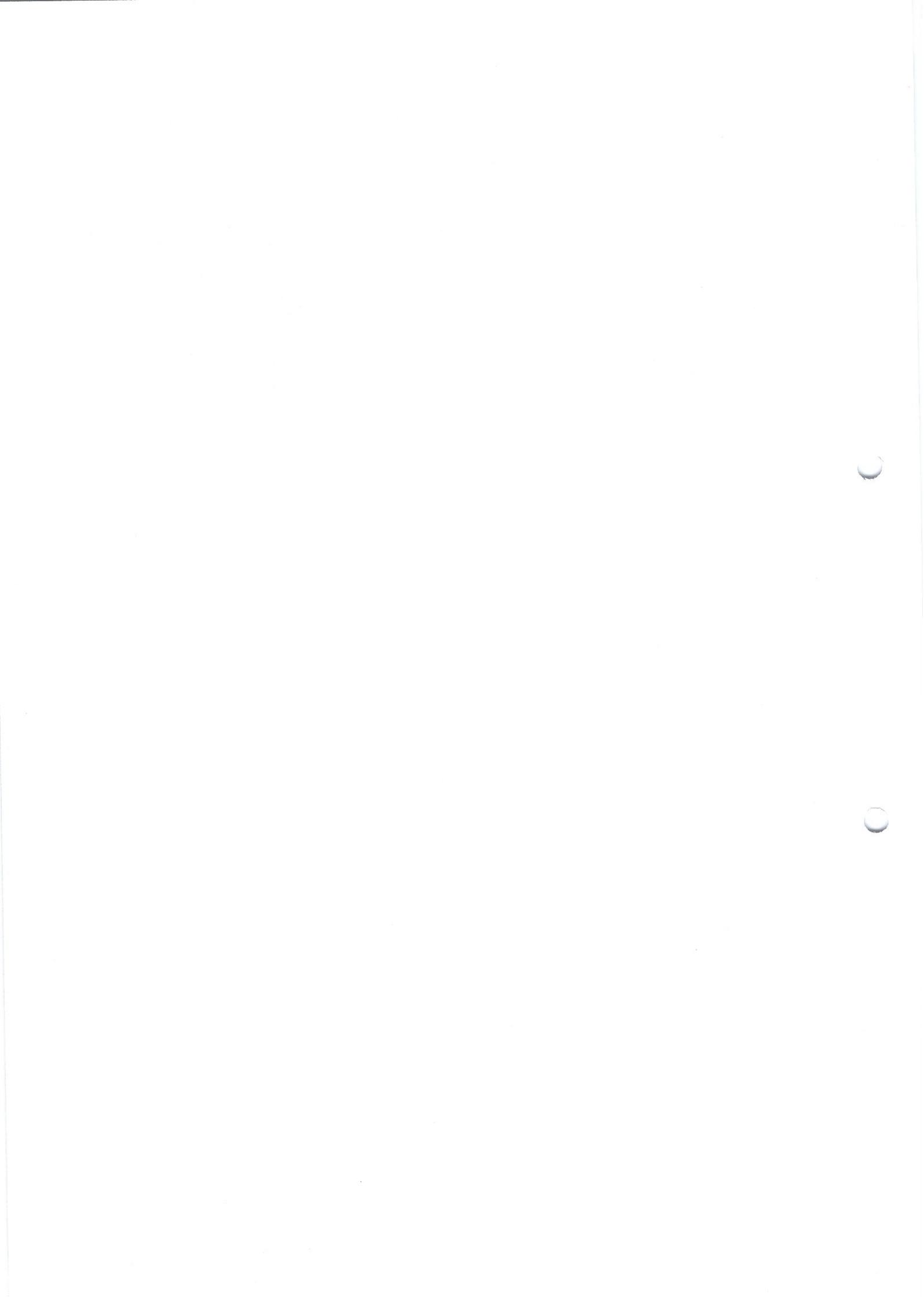
Da sich die Strömungsbedingungen entlang des Rotorblatts verändern, muss auch die Zackengröße in Abstand und Länge funktional an die lokalen Anströmbedingungen angepasst werden. Die patentierte kontinuierliche Verteilung der Zackengröße an ENERCON Windenergieanlagen führt zu einer optimalen Schallreduktion.



Abb. 4: Hinterkantenkamm TES

#### Auswirkungen auf die Leistungs-, $c_t$ - und $c_p$ -Kurve

Der Hinterkantenkamm hat keinen Einfluss auf die Leistungskurve oder auf die  $c_t$ - und  $c_p$ -Kennlinien. Der Hinterkantenkamm dient ausschließlich der Reduzierung der akustischen Emission.



**Abstandsflächenberechnung für die E-126 EP3 mit einer Nabenhöhe von 135,00 m**

Gemäß § 6 LBO Nordrhein-Westfalen gilt:

Abstandsfläche = größte Höhe der Anlage x 0,5

Größte Höhe  
der Anlage = Nabenhöhe + Rotorradius

Nabenhöhe = 135,00 m

Rotorradius = 63,50 m

Abstandsfläche = ( 135,00 m + 63,50 m ) x 0,5 = 99,25 m

**Abstandsfläche ab geometrischem Turmmittelpunkt beträgt 99,25 m.**



Der Hybridturm setzt sich aus 27 Turmteilen zusammen. Der Außendurchmesser des Turms beträgt am Turmfuß 10,73 m, am Turmkopf 3,22 m und am Turmkopfflansch 3,56 m. Die Gesamthöhe ab Oberkante (OK) Fundament bis OK Turmkopfflansch ist 130,07 m.

Der untere Bereich ist eine Spannbetonkonstruktion aus 24 Fertigteilebetonsegmenten mit einer Höhe von jeweils 3,64 m. Die Gesamthöhe beträgt 87,36 m ab OK Fundament. Die Wanddicken der Betonsegmente betragen 30 cm bis 48 cm.

Darauf aufgesetzt sind 3 Stahlsektionen (leicht konische Stahlröhren) mit Höhen von 19,35 m, 19,59 m und 3,80 m. Die Wanddicken der Stahlsektionen betragen 24 mm bis 60 mm. Die Verbindung der Stahlsektionen erfolgt mit vorgespannten Schraubverbindungen.

Die Herstellung der Betonsegmente erfolgt in einem ENERCON-eigenen Werk. Wegen des einfacheren Transports sind die unteren 2 Segmente als je 3 Drittelsegmente ausgeführt. 17 Segmente sind als je 2 Halbsegmente ausgeführt. Die oberen 5 Segmente sind einteilige Segmente.

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

Die Spannglieder werden durch den unteren Ringflansch des Stahlurmteils bzw. durch die Festanker der Zwischenabspannungen in die einbetonierten Hüllrohre der Betonsegmente eingezogen. Anschließend werden die Spannglieder gemäß Spannanweisung der Statik gespannt. Das Innere der Hüllrohre wird nach dem Spannen mit einem mineralischen Mörtel verpresst, sodass ein fester Verbund der gesamten Betonkonstruktion entsteht und die Spannglieder auf Dauer korrosionsschutz sind (interne Vorspannung).

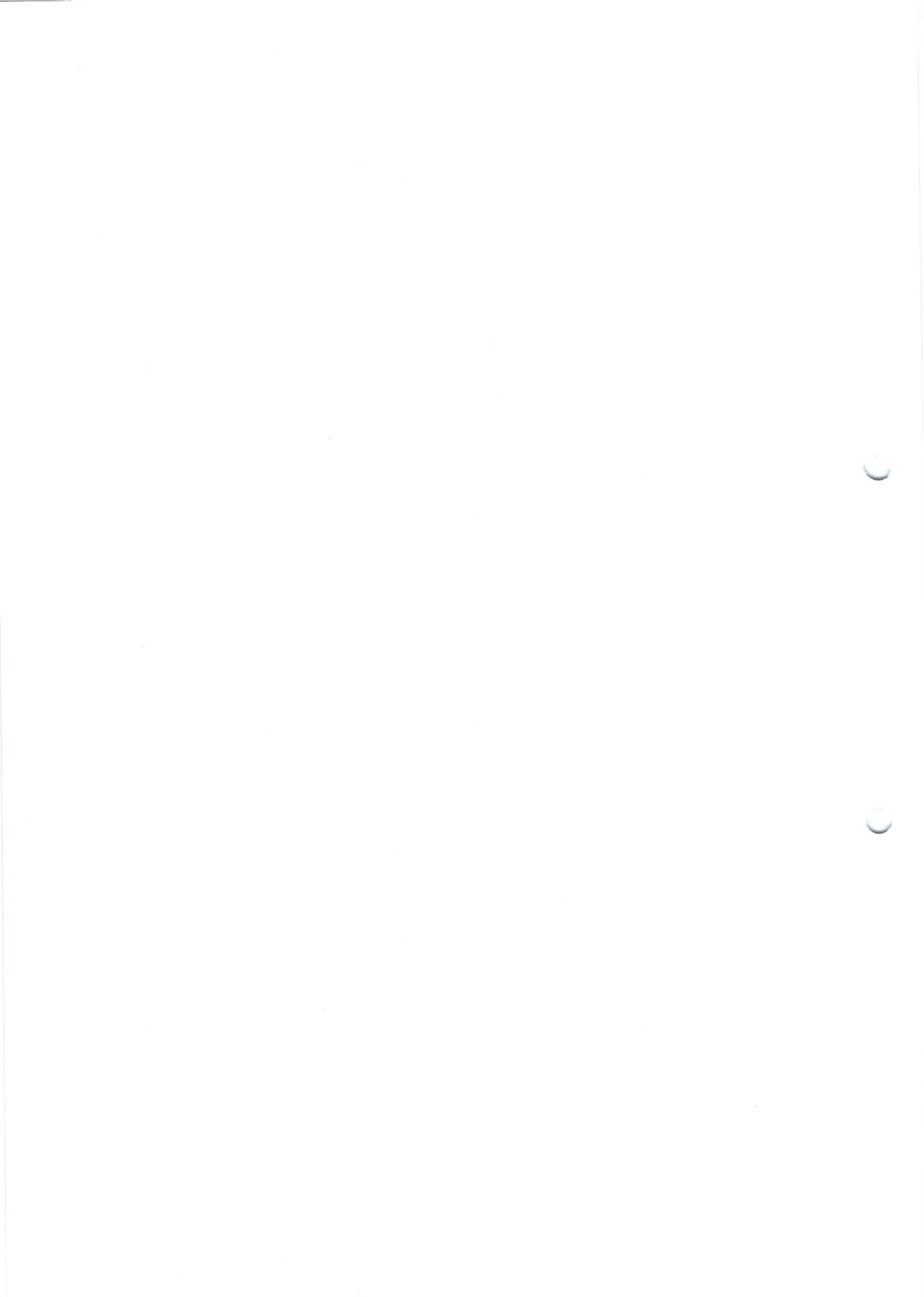
Der Aufstieg im Turm erfolgt über eine Sicherheitssteigleiter in Kombination mit einer Steig- schutzeinrichtung gemäß DIN EN ISO 14122-4:2016. Zwischen der Eingangsebene und dem oberen Ende des Turms sind weitere Podeste angeordnet. Diese Podeste werden im Werk vorinstalliert und während des Montageprozesses 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.

Für Inspektionen und Reparaturen wird eine Aufstiegshilfe (Nutzlast 240 kg) nach Maschinenrichtlinie 2006/42/EG eingebaut. Sie fährt seilgeführt bis zu einem Podest einige Meter unterhalb des Turmkopfs. Für die restliche Strecke wird die Sicherheitssteigleiter mit Steig- schutzeinrichtung 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.

Der Zugang in den Turm erfolgt über eine Außentreppe (Stahlkonstruktion). Die Turmeingangstür befindet sich auf Höhe der Fundamentabdeckung. Die Turmeingangstür ist abschließbar und kann von innen jederzeit ohne Schlüssel und Werkzeug geöffnet werden.

Auf der Eingangsebene sind unter anderem der Steuerschrank zur Bedienung der Windenergieanlage, eine unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) und optional die Fernüberwachung der Windenergieanlage angeordnet. Der Transformator und die Mittelspannungsschaltanlage sind ebenfalls auf der Eingangsebene oder alternativ außerhalb des Turms in einer Transformatorstation untergebracht; der Zugang ist in beiden Fällen mit einem separaten Schließsystem gesichert.



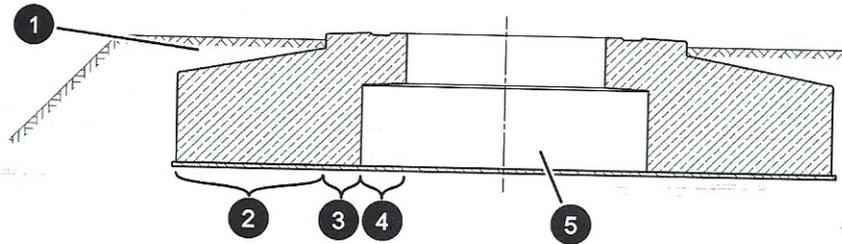


Abb. 1: Fundamentschnitt Hybridturm

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| 1 Bodenüberschüttung | 2 Sporn   |
| 3 Sockel             | 4 Konsole |
| 5 Fundamentraum      |           |

### Kreisförmige herausgezogene Tiefgründung (mit Auftriebswirkung)

Jede Gründung besteht aus einem kreisringförmigen Sporn mit innenliegendem Sockel und innenliegender Konsole, die als Auflager für den vorgespannten Hybridturm dient. Der Durchmesser der Konsole beträgt außen 11,20 m und innen 8,50 m. Die Konsolenhöhe beträgt innen 1,40 m und außen 1,45 m.

Der Außendurchmesser des Fundaments beträgt 19,00 m, der Außendurchmesser des Sockels beträgt 13,50 m. Die Spornhöhe beträgt innen 3,00 m und außen 2,60 m. Die Fundamenthöhe im Bereich des Sockels beträgt 3,90 m.

Jedes Fundament wird aus Beton C30/37 hergestellt. Unter dem Fundament befindet sich eine 0,10 m dicke Sauberkeitsschicht aus Beton C12/15.

Auf den Sporn wird eine dauerhafte Bodenaufschüttung aufgebracht, die bis auf 0,20 m unter die Sockeloberkante reicht. Die Sockeloberkante liegt 3,10 m oberhalb der Geländeoberkante.

Für diese Gründung ist ein Grundwasserstand bis zur Geländeoberkante zulässig.

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

- 51 Fertigteilrammpfähle aus Stahlbeton mit quadratischem Querschnitt 45 cm x 45 cm.
- 45 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 51 cm.
- 36 Ortbetonrammpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 56 cm.
- 20 Bohrpfähle aus Stahlbeton mit Kreisquerschnitt D = 100 cm.

