

Leitfaden

Kabel und Leitungen in Windkraftanlagen





Kabel und Leitungen in Windkraftanlagen

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.
Fachverband Kabel und isolierte Drähte
Minoritenstraße 9–11
50667 Köln

Verantwortlich: Walter Winkelbauer

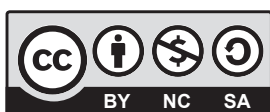
Telefon: +49 221 96228-19

Fax: +49 221 96228-15

E-Mail: winkelbauer@zvei.org

www.zvei.org

September 2017



Dieses Material steht unter der Creative-Commons-Lizenz
Namensnennung - nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen
Bedingungen 3.0 Deutschland. Um eine Kopie dieser Lizenz zu sehen,
besuchen Sie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>.

Einleitung

Die Verwendung von Kabeln und Leitungen innerhalb der Windkraftanlage lehnte sich Anfang der 90er Jahre sehr stark an vergleichbare Anwendungen beispielsweise in Tagebaubaggern an – denn die Drehbewegungen einer Gondel in der Windkraftanlage sind vergleichbar mit den drehbaren Auslegern eines Schaufelradbaggers.

Durch die rasche Weiterentwicklung und Optimierung der Windkraftanlagen stie-

gen allerdings die Anforderungen an die verwendeten Komponenten. Dabei wurden viele negative Erfahrungen mit dem Einsatz von ungeeigneten Kabeln oder Leitungen und auch Installationssystemen gemacht. Die nachfolgenden Hinweise sollen dem Errichter und Planer die Auswahl von Kabel und Leitungen sowie Installationssystemen erleichtern und aufwendige Nachbesserungen verhindern.

Allgemeine und spezielle Anwendungsbereiche und Anforderungen

Grundsätzlich gilt, dass Kabel und Leitungen speziell für die jeweiligen Anwendungszwecke seitens der Hersteller entwickelt und geprüft werden. Leitungsbauarten, die auch bei starken Temperaturschwankungen ihre Flexibilität und Torsionstauglichkeit behalten, werden bereits seit Jahrzehnten im Bereich der beweglichen Tagebaubagger erfolgreich eingesetzt. Ebenfalls gibt es mit dem sogenannten Loop, einer Leitungsschleife, langfristige Erfahrungen mit guten Standzeiten im Bereich der Drehübertragung von Drehgestellen bei Großgeräten. Diese Erkenntnisse und Erfahrungen wer-

den heute auch bei Kabel und Leitungen für Windkraftanlagen eingesetzt.

Da in einer Windkraftanlage viele hydraulische Anlagen in Betrieb sind, werden zusätzlich hohe Anforderungen an die chemische Beständigkeit von Kabel und Leitungen gestellt. Hierdurch wird sichergestellt, dass die zeitlich begrenzte Einwirkung von Hydraulik- und Getriebeölen die Gebrauchsdauer kaum beeinflussen.

Auch Prüfungen auf UV- und Ozonbeständigkeit werden generell immer verlangt, da die Anlagen bei der Errichtung und im Betrieb stark schwankenden Witterungsbedingungen ausgesetzt sind.

Hinzu kommen Anforderungen durch unterschiedliche Umgebungstemperaturen, in denen Gebieten ein sicherer Betrieb gewährleistet sein muss. Der klimatisch unterschiedliche Einsatz der Windkraftanlagen und der damit verbundene Temperaturbereich liegt im Regelfall zwischen -40°C und $+60^{\circ}\text{C}$. Um eine ausreichende Stromtragfähigkeit auch bei diesen höheren Temperaturen zu gewährleisten, sollten Materialien mit zulässiger Leitertemperaturen von 90°C gewählt werden

Die Kombinationsbelastung aus Leitertemperaturen bis zu 90°C für Energieleitungen und mechanischen Anforderungen mit hohen Nennströmen werden im Regelfall durch vernetzte Werkstoffe sehr gut erfüllt. Doch die Kabel und Leitungen sind nicht nur Umweltbelastungen ausgesetzt. Auf-



Gute Installation mit gummierten metallenen Befestigungen



Kabelbinder mit kleinen Auflageflächen führen zu hohen mechanischen Belastungen, die im Zusammenwirken mit Ozon und Feuchtigkeit eine Rissbildung des Mantels bewirken können

grund der großen Torsionswinkel zwischen Turm und Gondel ergeben sich große freitragende Leitungslängen, die eine hohe Zugkraftbeständigkeit notwendig machen. Weiterhin kann der Querdruck an den Befestigungen besonders bei LWL-Leitungen schnell zu Beschädigung der Leitungen führen. Diese können einen unverzüglich notwendigen Austausch der Leitung zur Konsequenz haben.

Aufgrund vieler Besonderheiten in der Installation sollten Torsionsanforderungen an Kabel und Leitungen immer zwischen Hersteller und Anwender festgelegt werden. Die Mantelqualität und deren Wanddicken sind für die Leitungen im Loop entsprechend der hohen mechanischen Belastung auszulegen und sollten zusätzlich über eine hohe Abriebfestigkeit verfügen. Es ist eine mechanische Mindestrobustheit der Leitung von mindestens AG3 nach dem internationalen Standard IEC 60364-5-51 zu empfehlen. Da Steuer-, Daten- und Lichtwellenleiter ein geringeres Eigengewicht aufweisen,

sollte hier eine Mindestrobustheit von AG2, ebenfalls nach IEC 60364-5-51, gewählt werden.

Generell gilt, dass Leitungen durch die jeweils verwendeten mechanischen Befestigungsmittel nicht beschädigt werden dürfen. Daher sollten die Befestigungsabstände entsprechend den Verwendungshinweisen in den Normen oder entsprechend den Vorgaben des Herstellers und im Zusammenspiel mit der Auslegung der Befestigungsschelle gewählt werden.

Der Einsatz in Windkraftanlagen verlangt von den Leitungen aufgrund der eingeschränkten Installationsmöglichkeiten geringe Biegeradien und möglichst kleine Außendurchmesser. Daher sollten auch im Bereich der festen Installation flexible Leitungen verwendet werden, die eine einfache und schnelle Montage auch unter Zeitdruck und schwierigen Bedingungen ermöglichen. Kleinere Biegeradien können durch dehnungsreiche Außenmäntel, geeignete Sonderkonstruktionen oder vorsichtige Biegung mit einer dafür entwickelten Vorrichtung realisiert werden.

Aufgrund der großen Biegeradien von Erdkabel in der festen Installation und den meist schlechten Brandeigenschaften, beschränkt sich deren Einsatz auf den Bereich der Turmeinführung.

In vielen Anwendungsbereichen treten in den Windkraftanlagen niederfrequente Vibrationen auf. Dadurch können in einigen Installationssituationen bei den Leiterklassen 1 und 2 nach IEC 60228 Leiterbrüche auftreten, die infolge von großen Stromstärken Lichtbögen erzeugen oder die Verfügbarkeit der Anlage mindern. Die Lichtbögen können wiederum für die Entstehung eines Brandes verantwortlich sein (siehe DIN VDE 0100-420). Damit ist die Verwendung von Leitungen mit Leiterklasse 5 oder besser zu empfehlen.

Generell sollten bei der Installation von Leitungen in Windkraftanlagen die Normungsteile 1, 11 und 32 der IEC 60204 sowie die IEC 60364-5-52 berücksichtigt werden.

Brandeigenschaften

Im Regelfall werden halogenfreie Energie- und Steuerleitungen verwendet, die eine geringe Brandfortleitung nach IEC 60332-1-2 aufweisen und im Brandfall die Anlagenkomponenten nicht dauerhaft durch Salzsäure schädigen. Lichtwellenleiterleitungen sollten die Anforderungen zur Brandfortleitung nach IEC 60332-1-2 oder IEC 60332-2-25 erfüllen.

Diese halogenfreien Leitungen zeichnen sich generell durch hohe Temperaturbeständigkeit in Verbindung mit geringer Brandfortleitung und Rauchentwicklung nach IEC 61034-2 (min. 50 Prozent) aus. Die dielektrischen Eigenschaften bleiben über einem großen Temperaturbereich konstant. Damit die Eigenschaften sicher erfüllt werden können, müssen die Anforderungen in der nachfolgenden Tabelle erfüllt sein.

EN 60754-2	pH Wert und Leitfähigkeit	$\text{pH} \geq 4,3$ und Leitfähigkeit $\leq 10 \mu\text{S}/\text{mm}$
EN 60754-1	Chlor- und Bromgehalt	$\leq 0,5 \%$

Anforderungen und Wirkungsweise von Schirmungen

Durch die eingeschränkten Platzverhältnisse in Windkraftanlagen können die notwendigen Separierungen zwischen den Leitungen mit unterschiedlichen Nennspannungen in der Installation im Regelfall nur unzureichend erfüllt werden. Daher werden die Leitungen mit Schirmen versehen, die auch nach Vorgaben der elektromagnetischen Verträglichkeit die Störung der Datenkommunikation durch den Umrichterbetrieb in den Energieleitungsnetzen zu verhindern helfen.

In Kombination mit dem Blitzschutz der Windkraftanlage können höhere Mindestanforderungen bei der Schirmdämpfung notwendig sein. Zur Begrenzung der Spannungsspitzen in der elektrischen Anlage bei Blitzeinschlägen sind geschirmte Leitungen mit einer maximalen Schirmdämpfung von 30mOhm/m bei 10MHz zu empfehlen.

Festlegung der Nennspannung

Wenn Schutzeinrichtungen zum Schutz bei Kurzschluss nach DIN VDE 0100 430 (VDE 0100 430) fehlen oder durch Parallelschaltung von Kabel und Leitungen ein separater Leitungsschutz ausgeschlossen ist, sollten kurzschluss- und erdschluss sichere Kabel oder Leitungen verlegt werden. Die Kurzschluss- und Erdschlussfestigkeit kann dadurch gewährleistet werden, dass eine höhere Spannungsebene gewählt wird.

Bei Leitungen mit Nennspannungen über $U/U = 1,8/3$ kV sollen nur solche Ausführungen verwendet werden, bei denen Maßnahmen getroffen sind, die Teilentladungen (Glimmentladungen) auf unschädliche Werte begrenzen. Diese Leitungen sollten über eine Leitschicht sowohl über dem Leiter als auch über der Isolierhülle verfügen. Damit wird eine besondere Langlebigkeit der Leitung erreicht.

Dieses Prinzip empfiehlt sich auch bei der Auswahl der Leitungen im pulsierenden Gleichspannungsbereich von Umrichter Anlagen und deren Zwischenkreisen. Daher wird empfohlen, für den langfristig störungsarmen Betrieb einer elektrischen Anlage, die Spannungsfestigkeit der Leitungen um eine Nennspannungsebene höher zu wählen.

Die äußeren Leitschichten von drei- oder vieradrige Leitungstrossen müssen besonders hochleitend ausgeführt sein, so dass auch bei Versionen ohne metallenen Schirm ein Phase-Erd-Schluss schnell und sicher erfasst werden kann.

Konfektionierte Leitungen

Bei Niederspannungsleitungen erfolgt die Konfektionierung meist im Turm – und das unter schwierigen Bedingungen. Daher sollten hierbei Verbindungskomponenten eingesetzt werden, die einfach zu handhaben sind und auch die betriebssichere Verbindung zwischen Leitungen mit sehr unterschiedlichen Leiterdurchmessern ermöglichen.

In der Praxis haben sich Verbindungstechniken bewährt, die nach IEC 61238-1 Prüfkategorie A geprüft werden. Bei Aluminiumleitern ist zudem zu beachten, dass die Kontaktierung des Leiters bei unsachgemäßer Lagerung und Handhabung erschwert wird.

Im Bereich der Hochspannungsleitungen ist die Langlebigkeit der Leitungen mit Nennspannung von 6/10 ($U_{max}:12$)kV bis 36/60 ($U_{max}:72$) kV gewährleistet, wenn eine fachgerechte Endverschluss- oder Stecker-Montage bereits im Werk erfolgt. Zudem muss die Qualität der Isolierhülle und Konfektionierung durch eine Teilentladungsprüfung höchstens 5pC bei $1,5 \times U_0$ nachgewiesen sein. Die Impulsspannungsbeständigkeit der fertig konfektionierten

Länge wird im Rahmen einer Typprüfung nach IEC60502-2 bzw. IEC 60840 vom Hersteller nachgewiesen.

Damit Beschädigungen der Leitungen bei der Installation erkannt werden können, sollte eine elektrische Prüfung mit der VLF Technik mit $0,1\text{Hz } 3 \times U_0$ bei der fertigen Anlage vor Ort erfolgen.

Insgesamt wird die elektrische Sicherheit in der Windkraftanlage durch vorkonfektionierte Leitungen erhöht, da bei der Konfektionierung im Turm die notwendige Sauberkeit zur Erstellung der Kriechstrecken nur selten erzielt werden kann.

LWL Leitungen sollten ebenfalls vorkonfektioniert für die Montage im Turm geliefert werden, da eine Konfektion in einer Fertigung bessere Dämpfungswerte erreicht und gegenüber der Verarbeitung auf der Baustelle geringerem Einfluss durch Staub und Verschmutzung ausgesetzt ist. Bei den Systemen sollten die Enden gut geschützt sein, da die Verbinder recht empfindlich sind und durch das Einziehen bzw. Verlegen in der Anlage beschädigt werden könnten.

Fazit

Zusätzlich sollte bei jedem System ein Messprotokoll mitgeliefert werden.

Elektrische Leitungsanlagen innerhalb von Windkraftanlagen müssen vielfältigen Anforderungen gerecht werden. Die Errichter und Betreiber erwarten eine lange Lebensdauer der Anlage und seiner Komponenten. Daher empfiehlt der ZVEI-Fachverband Kabel und isolierte Drähte, den Leitungshersteller bereits in der Planungsphase einzubinden, so dass ein sicherer und langfristiger Betrieb der Anlage gewährleistet werden kann.

Verwendete Normen

EN 60204-1: Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen

EN 60204-11: Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 11: Anforderungen an Hochspannungsausrüstung für Spannungen über 1000 V Wechselspannung oder 1500 V Gleichspannung, aber nicht über 36 kV

EN 60204-32:2008 Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 32: Anforderungen für Hebezeuge

HD 60364-5-52: Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 5-52: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel - Kabel- und Leitungsanlagen

HD 60364-4-42: Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-42: Schutzmaßnahmen - Schutz gegen thermische Auswirkungen

EN 60364-4-43: Errichten von Niederspannungsanlagen - Teil 4-43: Schutzmaßnahmen - Schutz bei Überstrom

IEC 60502-2: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV)

IEC 60840: Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV). Test methods and requirements

IEC 61238-1 Pressverbinder und Schraubverbinder für Starkstromkabel für Nennspannungen bis einschließlich 36 kV ($U_m = 42$ kV) - Teil 1: Prüfverfahren und Anforderungen

IEC 60754 Prüfung der bei der Verbrennung der Werkstoffe von Kabeln und isolierten Leitungen entstehenden Gase



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org