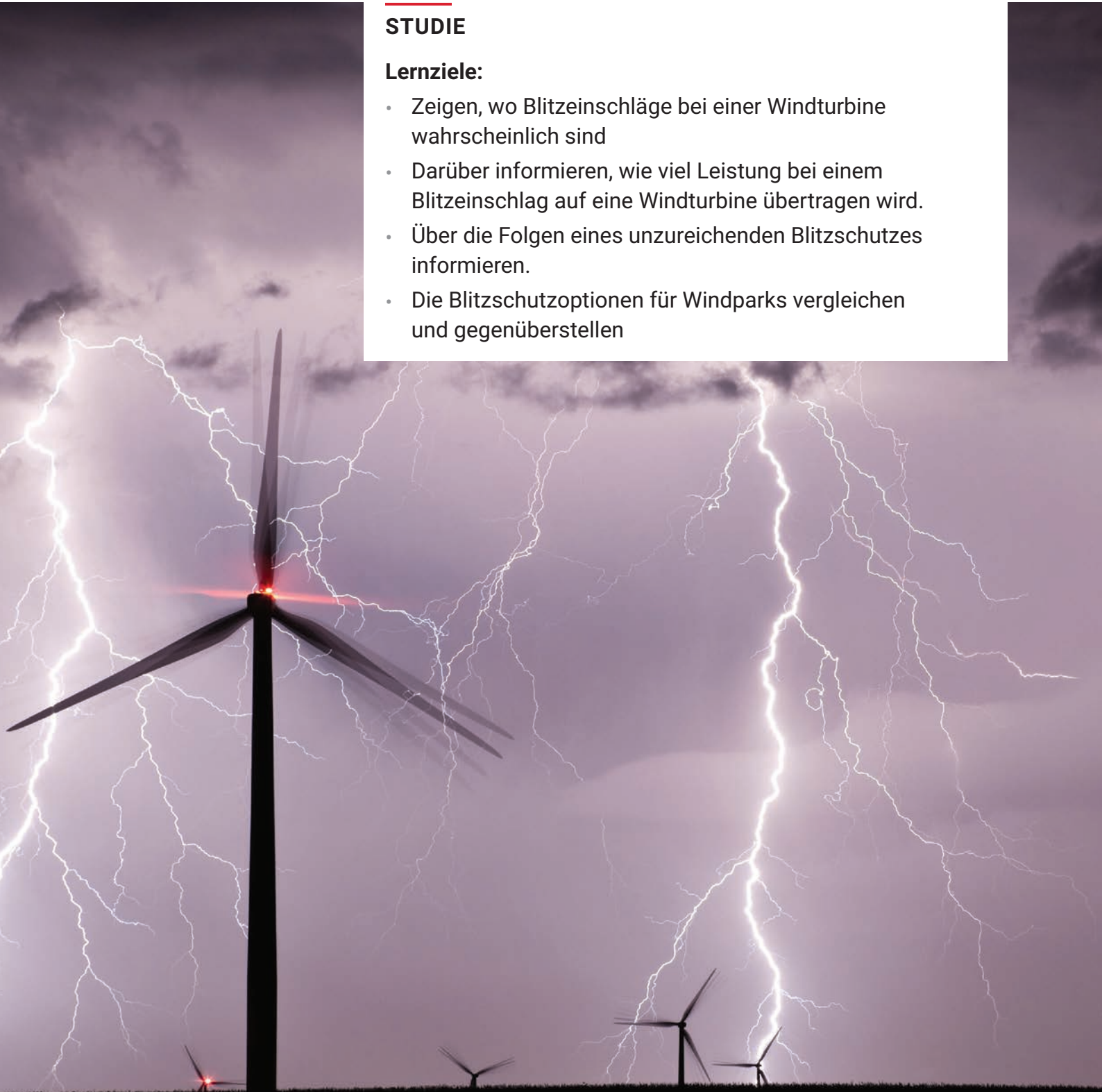


Verbesserte Blitzschutzleistung für die Windindustrie

STUDIE

Lernziele:

- Zeigen, wo Blitzeinschläge bei einer Windturbine wahrscheinlich sind
- Darüber informieren, wie viel Leistung bei einem Blitzeinschlag auf eine Windturbine übertragen wird.
- Über die Folgen eines unzureichenden Blitzschutzes informieren.
- Die Blitzschutzoptionen für Windparks vergleichen und gegenüberstellen



Kurzfassung

Basierend auf Studien und Computermodellen kann die Windindustrie den Schutz vor Blitzeinschlägen verbessern. Studien ergaben, dass die Spitze des Rotorblatts am ehesten getroffen wird, aber auch entlang des Rotorblatts gibt es Einschlagpunkte. Auch die Gondel ist sehr anfällig für Blitzeinschläge. Diese ist normalerweise eines der letzten Systeme, das im Design berücksichtigt wird, aber ein Blitzschutzsystem kann bei richtiger Implementierung die Gesamtbetriebskosten senken.

Ein durchschnittlicher Blitz hat eine Stromstärke von 30 kA und überträgt 15 Coulomb an elektrischer Ladung. Diese Einschläge können so viel Hitze erzeugen, dass das Rotorblatt oder die Gondel in Brand gerät, was erhebliche Schäden bis hin zum Totalverlust des Turms verursachen kann. Rund fünfundzwanzig Prozent der Versicherungsschäden an Windturbinen stehen im Zusammenhang mit Blitzeinschlägen.

Jüngste technologische Fortschritte haben zu einer verbesserten Übertragung und Wärmeableitung dieser zerstörerischen Energie. Ein herkömmlicher Blitzschutz ist anfällig für innere Durchschläge (Löcher im Rotorblatt), da die elektrischen Verbindungen zum Ableiter nicht isoliert sind. Neu entwickelte Systeme können diese Durchschläge dank robuster Isolierung und verbesserter Installationsmethoden praktisch eliminieren.

Erweiterte Kurzfassung

Blitzeinschlagsuntersuchungen vor Ort und Computermodelle haben gezeigt, dass viele Blitzschutzsysteme an den Rotorblättern von Windturbinen unzureichend sind. Viele der im Einsatz befindlichen Systeme schützen derzeit an oder in der Nähe der Rotorblattspitze, berücksichtigen aber nicht die Einschläge, die am Rotorblatt in Richtung der Nabe auftreten (Abbildung 1 und 2). Abbildung 1 zeigt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Blitzeinschlag die Rotorblattspitze umgeht, mit abnehmender Blitzeinschlagintensität zunimmt. Dies lässt sich anhand von Rotorblattlöchern und Bränden, die entlang der Rotorblattlänge auftreten, nachweisen. Abbildung 2 zeigt, dass auch die Rückseite der Gondel mit hoher Wahrscheinlichkeit getroffen wird.

Wie vorstehend erwähnt, beschränken sich einige Systeme in der Industrie heute auf den Schutz der Rotorblattspitze. Bei anderen Designs sind Paare von Rezeptoren auf gegenüberliegenden Seiten des Rotorblatts an verschiedenen Stellen entlang des Rotorblatts angebracht. Diese zusätzlichen Rezeptoren erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass alle Blitzeinschlagintensitäten erfasst und Schäden am Rotorblatt verhindert werden.



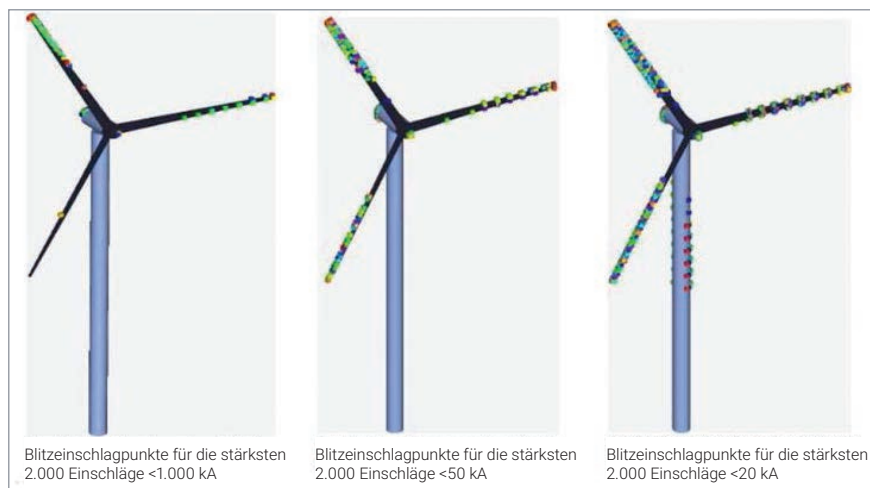


Abbildung 1: Blitzschlagmodell

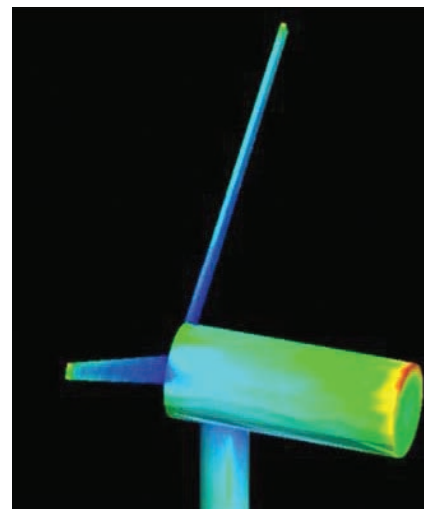


Abbildung 2: Verteilung der elektrischen Feldstärke

Schutzverfahren zur Ableitung des Stroms zur Erde werden schon seit vielen Jahren angewandt, aber generell handelt es sich um die gleiche Technologie, die derzeit für Hochhäuser und Telekommunikationstürme verwendet wird. Die Gondel verwendet in der Regel eine Franklin-Stange (Fangstange), um den Einschlag aufzufangen und durch den Turm in die Erde zu leiten. Die Dynamik der Windturbinenblätter ändert ständig den Bereich, in dem ein Einschlag wahrscheinlich ist, da sich die Orientierung des Rotorblatts aufgrund der Eigendrehung ändert.

Jeder dieser Bereiche, die einem Einschlag ausgesetzt sind, kann zu geringfügigen Schäden bis hin zum Totalverlust führen, wenn das Rotorblatt oder die Gondel aufgrund eines unsachgemäßen Blitzschutzes in Brand gerät. **Foto 1** auf der rechten Seite zeigt einen kompletten Rotorblattverlust als Folge eines Blitzeinschlags. Es ist unklar, ob der Blitz an der Spitze oder irgendwo entlang des Rotorblatts einschlug. Dies hätte vermeiden können, hätte man in der Designphase geeignete Blitzschutzverfahren und -geräte verwendet.

Der Blitzschutz wird beim Design von Windturbinen oft vernachlässigt. Die meisten Designüberlegungen konzentrieren sich auf die Geometrie des Rotorblattprofils zur Optimierung des Wirkungsgrads, um die meiste Leistung zu erzeugen. Dies ist der Schlüssel zum Erfolg der Branche, aber dem Blitzschutz etwas mehr Designzeit zu widmen, könnte die Gesamtkosten für den Endanwender verringern. Eine solche Investition macht in der Regel weit weniger als 1 % der Gesamtkosten der Herstellung der Windturbine aus, kann aber Hunderttausende, wenn nicht gar Millionen von Euro an Versicherungsansprüchen einsparen.

Die bei einem Blitzeinschlag erzeugte Energie ist eines der gewaltigsten Naturereignisse. Ein durchschnittlicher Blitz verfügt über eine Stromstärke von 30 kA und überträgt 15 Coulomb an elektrischer Ladung. Im Extremfall kann der Strom eine Stärke von 120 kA und mehr erreichen und eine elektrische Ladung von 350 Coulomb übertragen werden. Diese Energie muss sehr schnell aufgefangen und weitergeleitet werden, um einen Hitzestau zu vermeiden, der die Struktur in und um den Einschlag herum beschädigen kann. Um diese Energie möglichst effizient abzuleiten, ist gemäß IEC 61400-24 ein Kupferleiter mit einer Mindestquerschnittsfläche von 50 mm² erforderlich. Aluminiumleiter sind ebenfalls zulässig, werden aber üblicherweise zur Reduzierung der Gesamtkosten verwendet und erfordern eine Mindestquerschnittsfläche von 70 mm².



Foto 1: Folgen von Blitzeinschlägen in Windturbinen

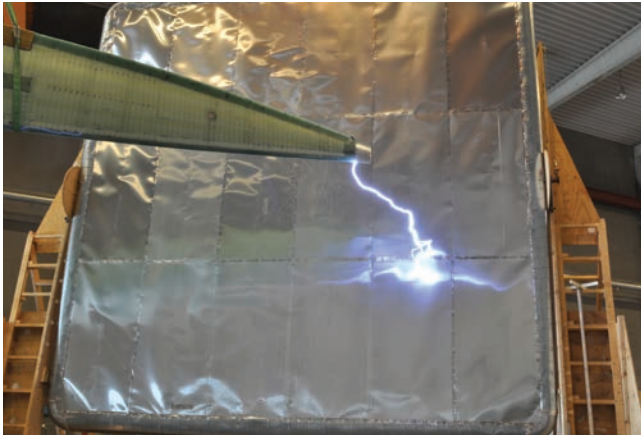


Foto 2: Hochspannungsprüfung des Spitzenrezeptors

Die Fotos 2 und 3 zeigen Labortests von Durchschlägen am Spitzenrezeptor (Foto 2) und am Seitenrezeptor (Foto 3). Diese Fotos wurden mit geöffnetem Verschluss aufgenommen, um den Blitzschlag einzufangen. Diese Blitzeinschläge waren stark genug, um die japanische Norm von 200 kA bei 20 MJ/Ω zu erfüllen. Die IEC-Norm 61400-24 empfiehlt 200 kA bei einem Schutz von 10 MJ/Ω.

Blitzeinschlagschäden machen etwa 25 % der gesamten Versicherungsansprüche für Windturbinen aus. Dies ist ZUM BEISPIEL ein enormer Kostenfaktor für die Verwaltung und den Betrieb eines Windparks in blitzgefährdeten Gebieten wie dem Süden und dem Flachland der Vereinigten Staaten.

Die Entwürfe für Blitzschutzsysteme variieren je nach Rotorblattdesigner von sehr einfach bis sehr ausgeklügelt. Abbildung 3 zeigt eines der einfacheren Designs, bei dem ein Seitenrezeptor in der Nähe der Rotorblattspitze zur Schadensverhinderung verwendet wird. Basierend auf den zuvor erörterten Modellierungs- und Felddaten deckt dies jedoch nicht die Blitzeinschläge weiter unten auf dem Rotorblatt ab. Bei einer anderen Methode werden mehrere Seitenrezeptoren und ein Spitzenrezeptor verwendet, wie in Abbildung 4 dargestellt. Diese Systeme können paarweise oder als Einzelrezeptoren an beliebig vielen Stellen entlang des Rotorblatts konfiguriert werden, je nach dem wie von den Rotorblattdesignern vorgesehen. Die optimale Konfiguration besteht aus drei Rezeptorpaaren mit einem Abstand von mindestens fünf Metern zwischen den jeweiligen Sätzen. Der Spitzenrezeptor fängt die größten Blitzeinschläge auf, die das Rotorblatt treffen.

Die neuesten Designs von Blitzschutzsystemen basieren auf dem Trend, größere Turbinen zu bauen. Mit zunehmender Länge der Rotorblätter hat die Verwendung leichter, steiferer Materialien dazu geführt, dass bei immer mehr Rotorblättern Kohlefaser in deren Wänden verwendet wird. Kohlefaser ist von Natur aus leitfähig und muss daher zum Verhindern von Überslagsschäden ordnungsgemäß mit dem Blitzschutzsystem verbunden werden. Um den Strom von der Außenseite des Rotorblatts zum inneren Blitzschutzsystem und Ableiter zu leiten, hat die Industrie damit begonnen, Kohlefaser mit einem Kupfergeflecht zu ummanteln (Foto 4).

Die Isolierung ist ein weiterer Faktor des Blitzschutzes, der bisher gern übersehen wurde. Dies haben Tests gezeigt, bei denen Blitzeinschläge die Rotorblattwand durchdringen und in die Verbindungen zwischen den Rezeptoren und den Leitern einschlagen. Dies leitet den Strom zum Erdungssystem ab, was jedoch katastrophale Folgen wie einen Totalausfall der Turbine ab dem Punkt haben kann, an dem der Blitz in die Anlage einschlug.

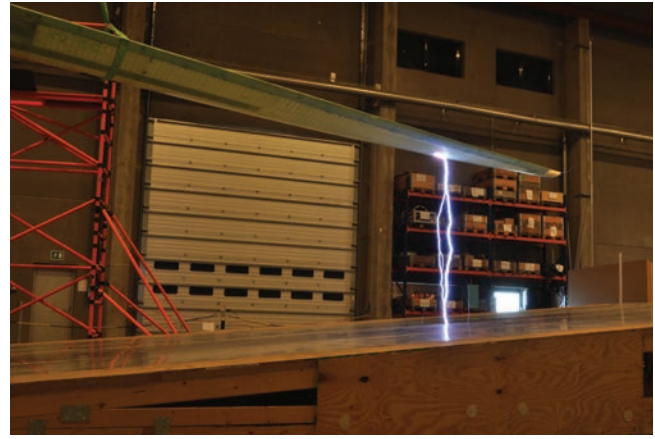


Foto 3: Hochspannungsprüfung des Seitenrezeptors

Das System in Abbildung 4 bewältigt dieses Problem mit einem vollständig isolierten Design. Die „Stecker“, die sich an den Buchsen der Seitenrezeptoren befestigen lassen, sind mit allen Komponenten, einschließlich des Leiters, vergossen, was die leitenden Materialien vollständig isoliert. Die Buchsen bestehen aus einem Polymer, das nach der Installation auch als Isolator dient. Nur die Scheibe des Seitenrezeptors ist leitfähig und leitet die Energie sicher in die Erde ab. Das System wurde mit 200 kA getestet, wobei die Temperatur in der Umgebung um weniger als 12° C (53,6 F) anstieg. Dies ist ein wichtiger Punkt: Nur weil es einen Rezeptor gibt, heißt das nicht, dass dieser Schäden verhindert. Kleine Querschnitte in Verbindungen können zu einer Wärmeintensivierung führen und Brände verursachen.

Die Installation und die Qualität der Installation sind weitere Themen, die bei der Integration eines der bereits erörterten Systeme zu berücksichtigen sind. Das in Abbildung 3 dargestellte System ist für Rotorblatthersteller sehr arbeitsintensiv.

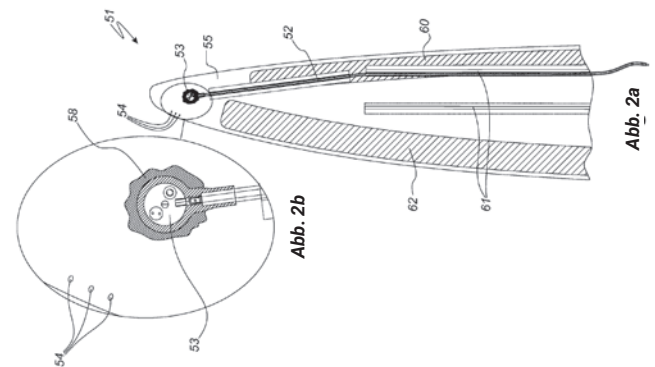


Abbildung 3: Arbeitsintensive Installation für Rotorblatthersteller

Die Seitenrezeptoren müssen nach dem Verschließen des Rotorblatts von dessen Außenseite aus platziert werden. Dies führt zu Nacharbeit, da das Team mit Hilfsmitteln und Plänen arbeiten muss, um diese zu finden. Die meisten Mitarbeiter sind in der Lage, die Rezeptoren oder Rezeptorblöcke zu lokalisieren, bohren und schneiden das Loch aber möglicherweise falsch. Dies hat kostspielige Nacharbeiten und möglichen Qualitätsprobleme zur Folge. Die zur Befestigung der Rezeptorblöcke verwendete Paste kann die leitenden Oberflächen bedecken und beim Anbringen des Ableitungskabels ein großes Leistungsproblem verursachen. Anstatt die Energie des Einschlags direkt auf den Ableiter zu übertragen, könnte diese einen Lichtbogen über die Paste schlagen und so einen Blitz sowie einen möglichen Brand verursachen.

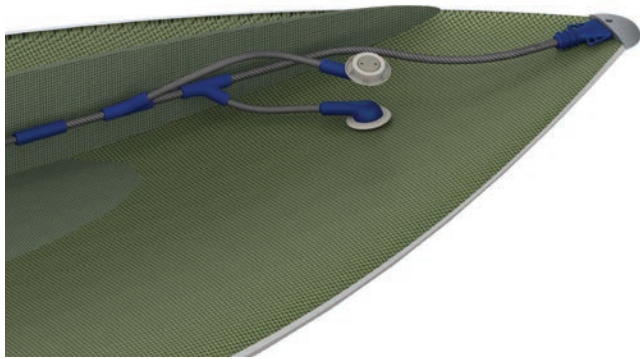


Abbildung 4: Abbildung des nVent ERICO Blitzschutzes für Rotorblätter

Die Installation von Stecker und Buchse (Abbildung 4) erfordert nur wenig Geschick, da die Buchse auf der Rotorblattform aufliegt und das Rotorblatt um diese herum aufgebaut ist. Der Stecker lässt sich auf der ersten Seite leicht in die Buchse stecken und erfordert ein einfaches Werkzeug zur Verbindung mit der gegenüberliegenden Seite, wenn das Rotorblatt geschlossen wird. Es gibt kein Rätselraten darüber, wo sich der Rezeptorblock befindet, und dieser lässt sich im Vergleich mit dem System in Abbildung 3 in wenigen Minuten anstatt in Stunden installieren.

Die Wartung wird im Vorfeld nicht als Problem angesehen, da sie in der Regel vom Endnutzer übernommen wird. Die meisten einfachen Systeme sind nicht leicht zu warten, da diese nur

zugänglich sind, wenn das Rotorblatt aufgeschnitten wird. Wird das Rotorblatt dabei beschädigt, muss es ausgetauscht werden. Dies ist sehr schwierig, da sich die Techniker bei eingebautem Rotorblatt zu diesem abseilen müssen, um es aufzuschneiden, zu spleißen, zu ersetzen und zu versiegeln. Auch die Beschaffung der für die beschädigte(n) Stelle(n) erforderlichen Werkzeuge ist keine leichte Aufgabe. In manchen Fällen muss ein Verbundstoffteil eingebaut werden, um das geschädigte Teilstück zu ersetzen, was den Wirkungsgrad der Turbine.



Foto 4: Installation von Kupfergeflecht

Reparatur eines Schadens nahe der Spitze eines Rotorblatts.

Die Wartungskosten belaufen sich auf mindestens 10.000 Dollar (USD), um selbst kleinere Blitzschäden zu reparieren, zuzüglich der mit der fehlenden Energieerzeugung verbundenen Ausfallkosten. Der Gesamtschaden an den Rotorblättern oder der Turbine durch einen Blitzeinschlag beträgt weit mehr als 100.000 USD und hätte mit einem angemessenen Blitzschutz für weniger als 3.000 USD verhindert werden können.

Das Stecker- und Buchsensystem löst das Problem der Wartung vor Ort durch das einfache Einschrauben eines neuen Rezeptors in die Buchse. Dies lässt sich mit einem Stirnlochschlüssel und das Anziehen mit der Hand oder einem Drehmomentschlüssel (bevorzugtes Verfahren) bewerkstelligen. Die Lösungen mit Rezeptorblöcken verfügen in der Regel über auf die jeweilige Anlage zugeschnittene Rezeptoren. Auf einem einzigen Rotorblatt können sich Rezeptoren verschiedener Größe befinden, was bedeutet, dass die Techniker eine größere Verantwortung haben und die Möglichkeit besteht, dass falsche Rezeptoren installiert werden.

Viele Systeme können eine Windturbine schützen, aber Designer sollten die Entscheidung treffen, die für die gesamte Betriebsdauer des Projekts am besten geeignet ist. Alle oben genannten Faktoren können entmutigend sein, wenn nicht ausreichend Ressourcen für die Konzeption eines geeigneten Blitzschutzsystems bereitgestellt werden. Das Nichtinstallieren eines Blitzschutzsystems ist ebenfalls eine Option, wird aber schwerwiegende Folgen haben. Angesichts des rasanten technologischen Fortschritts müssen sich Projektmanager manchmal mit diesen neuen und innovativen Ideen auseinandersetzen, um ihr Projekt vom Wettbewerb abzuheben.



Foto 5: Reparatur von Rotorblattschäden

Versicherungsgesellschaften suchen stets nach Möglichkeiten, ihr Risiko zu verringern. Diese neueren Technologien werden Sie dabei unterstützen und die Prämien senken, was zu einem rentableren Geschäftsmodell für die Windturbinenindustrie führt.

Danksagungen

Foto 1 von Darren DeJong

<https://www.wind-watch.org/news/2012/08/06/fire-in-the-sky-lightning-strike-sparks-buffalo-ridge-turbine-blaze/>

Abbildung 3 – Google-Patente

<http://www.google.com/patents/EP2226497A1?cl=ko>

Foto 5 – Rope Partner

<https://www.ropepartner.com/services/wind-turbine-blade-repair/>



Unser starkes Markenportfolio:

CADDY ERICO HOFFMAN RAYCHEM SCHROFF TRACER