

Abschlussbericht zum Teilprojekt

**Messung von Blitz-Häufigkeiten und Blitzstrom-Parametern in der Nähe  
künftiger Offshore-Windparks**

Projektnummer: 122-09-022

Projektlaufzeit: 01.07.2009 – 31.03.2013

Prof. Dr.-Ing. Klaus Scheibe  
Fachhochschule Kiel, Fachbereich Informatik und Elektrotechnik, Institut für  
elektrische Energietechnik, Grenzstraße 5, 24149 Kiel  
klaus.scheibe@fh-kiel.de

Förderprogramm des Ministeriums für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr des  
Landes Schleswig-Holstein.

## Inhalt

1.	Einleitung.....	2
2.	Zielsetzung .....	3
3.	Stand der Wissenschaft und Technik .....	4
4.	Aufbau der Messeinrichtung.....	4
4.1	Konzept der Blitzstrommessung.....	4
4.2	Messeinheit Turmspitze .....	6
4.3	Blitzstromableitung.....	7
4.4	Messeinheit Turmfuß.....	9
4.5	Auswertung der Blitzströme .....	10
4.6	Optische Entladungsaufzeichnung.....	11
4.7	Einschalten der Messgeräte vor dem Blitzereignis.....	13
5.	Auswertung eines Blitzereignisses .....	14
6.	Fazit des Gesamtprojektes .....	16
7.	Veröffentlichungen.....	18

Stand: 27.06.2013

### 1. Einleitung

Im Hinblick auf den Klimawandel und die begrenzten fossilen Energieträger werden zunehmend Kraftwerke gebaut, in denen die elektrische Energie aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Nach dem Erneuerbare-Energien- Gesetz (EEG) soll der Energiebedarf in Deutschland bis zum Jahr 2020 zumindest mit 20% aus erneuerbaren Energien gedeckt werden. Offshore-Windparks in der Nord- und Ostsee sollen rund 15 % der Energie liefern.

Bis zum Jahr 2030 ist die Errichtung von Offshore- Windparks mit einer Leistung von 25 bis 30 GW geplant. Da für Offshore-Windparks wenige Erfahrungswerte vorliegen, hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für dieses ehrgeizige Ziel im Jahr 2001 den Bau von drei Forschungsplattformen initiiert. Drei sogenannte FINO-Plattformen wurden in Nord- und Ostsee errichtet. Umfangreiche Forschungsaktivitäten werden hier durchgeführt.

Die Fachhochschule Kiel beteiligt sich mit einem Forschungsvorhaben zur Blitzstrommessungen auf FINO3. FINO3 befindet sich etwa 80 km westlich der

schleswig-holsteinischen Insel Sylt am Rande des genehmigten Offshore-Windparks Dan Tysk (Abbildung 1). In der näheren Umgebung von FINO3 sind drei weitere Offshore-Windparks sowie zwei Netzanbindungen genehmigt. Nach Fertigstellung können 320 Windenergieanlagen eine Leistung von bis zu 1.440 MW ins Stromnetz einspeisen. Vier weitere Windparks sind mit zusätzlichen 320 Windenergieanlagen geplant.



Abb.1: Standort FINO3

## 2. Zielsetzung

Zunehmend werden Windenergieanlagen geplant und gebaut, um konventionelle Energiequellen durch alternative, ressourcenschonende Energiequellen zu ersetzen. Im Hinblick auf hohe und nahezu konstante Windgeschwindigkeiten, die eine Voraussetzung für einen optimalen Windenergieanlagen-Betrieb darstellen, wird der Bau dieser Kraftwerke im Meer vorgesehen, wo günstige Betriebsbedingungen vorliegen.

Anders jedoch als auf dem Festland liegen kaum Erkenntnisse über die Blitzhäufigkeit verbunden mit den Parametern Amplitude des Blitzes, Verlauf des Blitzes und damit verbundener Blitzstrom-Gefährdung der geplanten Offshore-Windenergieanlagen vor.

Offshore-Windenergieanlagen stellen mit ihren schlanken hohen Strukturen bevorzugte Einschlagorte für Blitzeinschläge dar. Die Kraftwerke der neuen Generation, die für Offshore-Anlagen geplant sind, haben eine Turmhöhe von ca. 100 Metern und eine Rotorblattlänge von ca. 60 Metern. Das heißt, dass bei senkrechter Stellung eines Rotorblattes seine Spitze ca. 160 Metern vom Erdpunkt

(Turmfuß) entfernt ist und somit deutlich weiter als die Spitze des Kölner Doms vom Erdboden.

Die Windenergieanlagen liefern bereits Leistungen von 6 MW und werden Offshore in Windparks angeordnet, zu denen künftig einige 10er Windenergieanlagen-Gruppen gehören, mit einer gesamten Farmfläche von einigen 10 qkm. Die Beschädigung einer Windenergieanlage durch Blitzeinwirkung wird sich meistens dahingehend auswirken, dass Rotorblätter, elektrische und elektronische Anlagen beschädigt oder gar zerstört werden und die Lieferung der Leistung über längere Zeit ausfällt. In dieser Zeit muss mit Schiffen und Flugzeugen die Reparatur bzw. der Austausch zerstörter Anlagenteile erfolgen. Dieses ist kostenintensiv, so dass zunehmend Windenergiehersteller ihre Anlagen unter Berücksichtigung der höchsten Blitzschutz-Gefährdungsklasse auslegen.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden Blitzeinschläge in den FINO3-Mast über eine Blitzfangstange und den Gitterturm kontrolliert abgeleitet und über ein Messsystem ausgewertet.

### **3. Stand der Wissenschaft und Technik**

Messungen auf dem Meer sind weltweit noch nicht durchgeführt worden, so dass dieses Forschungsvorhaben eine wesentliche Lücke in der Blitzschutzforschung darstellte. Ziel war es, Blitzdaten zu erhalten, die den Herstellern von Windenergieanlagen die Möglichkeit geben, Blitzschutzmaßnahmen an den Windenergieanlagen vorzunehmen, die den tatsächlichen Bedrohungswerten entsprechen. Somit können die Blitzschutzmaßnahmen optimiert ausfallen, so dass ein zuverlässiger Anlagenbetrieb auch bei Blitzeinwirkung möglich ist.

## **4. Aufbau der Messeinrichtung**

### **4.1 Konzept der Blitzstrommessung**

Für die Forschungsplattform FINO3 wurde eine hochleistungsfähige Blitzstrommesseinrichtung konzipiert und eingebaut (Abbildung 2). Messwiderstände, induktive Wandler und magnetische Sensoren wurden sowohl an der Spitze des 83,5 Meter hohen Gittermastes als auch alle 25 Meter über die Turmhöhe verteilt

angeordnet, um auch Seiteneinschläge erfassen zu können. Die Messapparatur besteht aus Messshunts und induktiven Wandlern sowie magnetischen Sensoren. Durch diese Messeinrichtungen ist es möglich, Kenntnis vom Anteil der Blitzeinschläge in die Spitze zu erlangen. Gemessen wurden Ströme, die über die Mittelableitung im Plattformbereich und die drei Maststiele abfließen. Die Signalübertragung erfolgte über Lichtwellenleiter zum Messcontainer am Turmfuß.

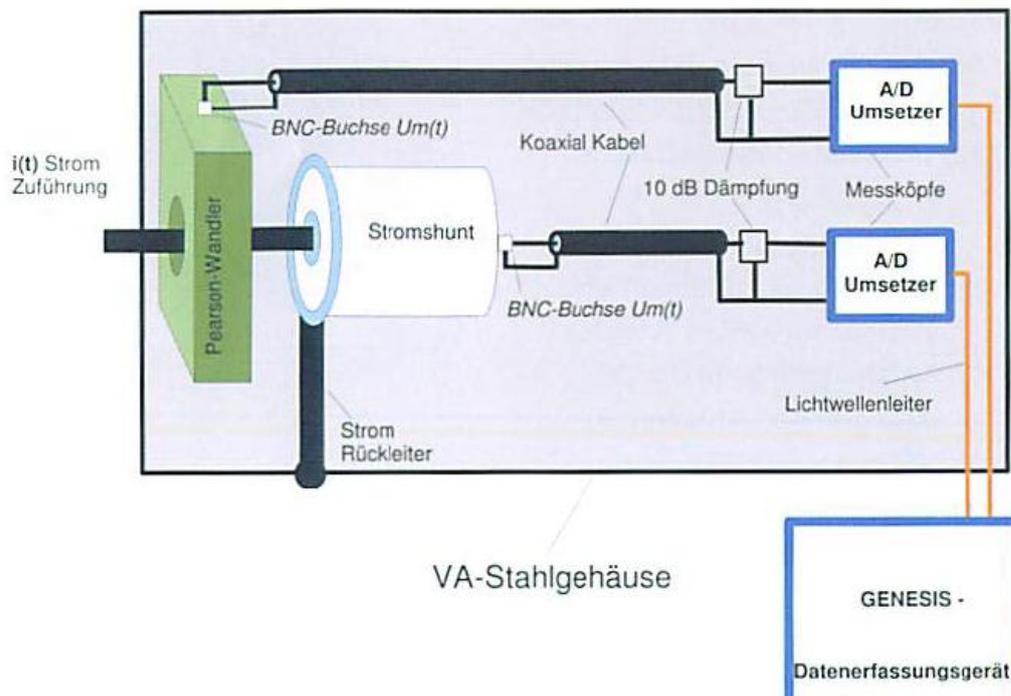


Abb. 2: Blitzstrommesseinrichtung

Eine der wichtigen Aufgaben war die rechtzeitige Triggerung der Messeinrichtungen, bevor ein Blitzeinschlag auftritt. Eine weitere sehr wichtige Aufgabe war der Transfer der Messdaten von der Spitze des Turms zu dem geschirmten Messcontainer auf der Messplattform. Eingesetzt wurde das Messdaten-Erfassungssystem „GENESIS“. Mit diesem wurden die Messdaten der Messwandler unter der Blitzfangstange ausgewertet. Die Messkarte im System hatte eine Abtastrate bis zu 100 MS/s und Kanal. Insgesamt standen vier Kanäle zur Verfügung. An den Eingängen der Messkarte wurden über Lichtwellenleiter Analog-/Digital- Umsetzer angeschlossen. Die Umsetzer waren in unmittelbarer Nähe der Messwandler platziert und übertrugen die Messdaten. Die elektromagnetischen Felder wurden über H- und E-Feld-Sensoren erfasst. Zusätzlich zu den elektrischen Blitzstrommessungen erfolgte eine optische Erfassung der Blitzeinschläge mit einer Hochgeschwindigkeitskamera.

## 4.2 Messeinheit Turmspitze

Für die Blitzstrommessung unterhalb der Turmspitze wurden ein Stromshunt und ein Pearson-Wandler in einem VA-Stahlgehäuse montiert (Abbildung 3 / Tabelle 1). Im VA-Stahlgehäuse befinden sich die Messköpfe des Genesis-Messsystems. Diese Messköpfe wandeln das elektrische Signal des Shunts und des Pearson-Wandlers in ein optisches Signal, welches mit einem LWL-Kabel zum Genesis-Grundgerät im Messcontainer übertragen wird. Diese optische Lösung unterliegt keinen magnetischen oder elektrischen Beeinflussungen. Somit kann ein gerade eingeschlagener Blitz keinen störenden oder verfälschenden Einfluss auf das Messsignal ausüben.



Abb. 3: VA-Stahlgehäuse unterhalb der Turmspitze mit Blitzstrom-Messkomponenten

Messeinheit	Impulsform in $\mu\text{s}$	max. Amplitude in kA
Shunt	10/350	200
Stromwandler	10/350	150

Tab.1: Kenndaten der Messsensoren

Im obersten Mastsegment sollten im letzten halben Jahr des Projektzeitraumes eine E-Feldantenne und eine H-Feldantenne zur Erfassung von Wolke-Wolke Entladungen montiert werden, um Entladungen in einem Umkreis von einigen 100 Metern bis hin in den Kilometerbereich messen zu können. Mit dieser Methode können viel mehr Ereignisse in gleicher Zeit registriert und ausgewertet werden.

Eine geeignete E-Feldantenne wurde beschafft und messtechnisch in den EMV-Laborräumen der Fachhochschule Kiel auf ihr Frequenzverhalten hin untersucht. Der untersuchte Frequenzbereich lag zwischen 90 MHz und 140 MHz.

Ein Eigenbau einer passiven H-Feldantenne wurde fortgesetzt und fertiggestellt. Der untersuchte Frequenzbereich liegt zwischen 500 kHz und 600 kHz. Dieser Bereich

wird in der Blitzortungspraxis für die Erfassung von Wolke-Wolke- und Wolke-Erde-Blitzen genutzt.

Die Montage der H-Feld- und E-Feldantennen zur Erfassung von entfernten Blitzeinschlägen konnte während der Projektlaufzeit nicht mehr vorgenommen werden.

### **4.3 Blitzstromableitung**

Trifft ein Blitz die Blitzfangstange des Messmastes, so wird der Blitzstrom durch die Messeinheit unterhalb der Turmspitze auf den Gittermast abgeleitet (Abbildung 4). Unterhalb des VA-Stahlgehäuses kann sich der Strom über den gesamten Messmast verteilen und in Richtung Erde abfließen. In 15 Meter Höhe über dem Plattformdeck befindet sich eine massive Kupferschiene, die mit allen drei Eckstielen des Messmastes verbunden ist. In etwa der Mitte des Mastes wird von hier aus der sogenannte Mittelableiter installiert. Dieser soll dem Blitzstrom einen niederimpedanten Pfad zur Erde bieten, in dem auch ein Messshunt zur Strommessung eingesetzt wurde. Am Ende des Mittelableiters befindet sich die Messeinheit „Turmfuß“, in die ergänzend zu dem Shunt auch ein induktiver Wandler eingesetzt wurde

Der Strom, der über die drei Eckstiele des Messmastes abfließt, wird von Induktionsschleifen gemessen. Ab hier kann der Blitzstrom über die Konstruktion der Plattform zur Erde (Meerwasser) abfließen.

Die innovative Neuentwicklung „Lightning-Monitoring-System“ der Firma Phoenix Contact hat sich nach Recherchen als alternatives Erfassungssystem der Ableitströme in den Maststielen herausgestellt. Es wurde vor dem Einbau auf FINO3 an der Fachhochschule Kiel kalibriert. Die bislang eingesetzten Magnetkarten konnten nicht für die Messung am Gittermast verwendet werden, da das Stielrohr im Durchmesser zu groß ist, um eine gesicherte magnetische Beeinflussung der Speicherkarten zur Signalaufzeichnung zu ermöglichen.

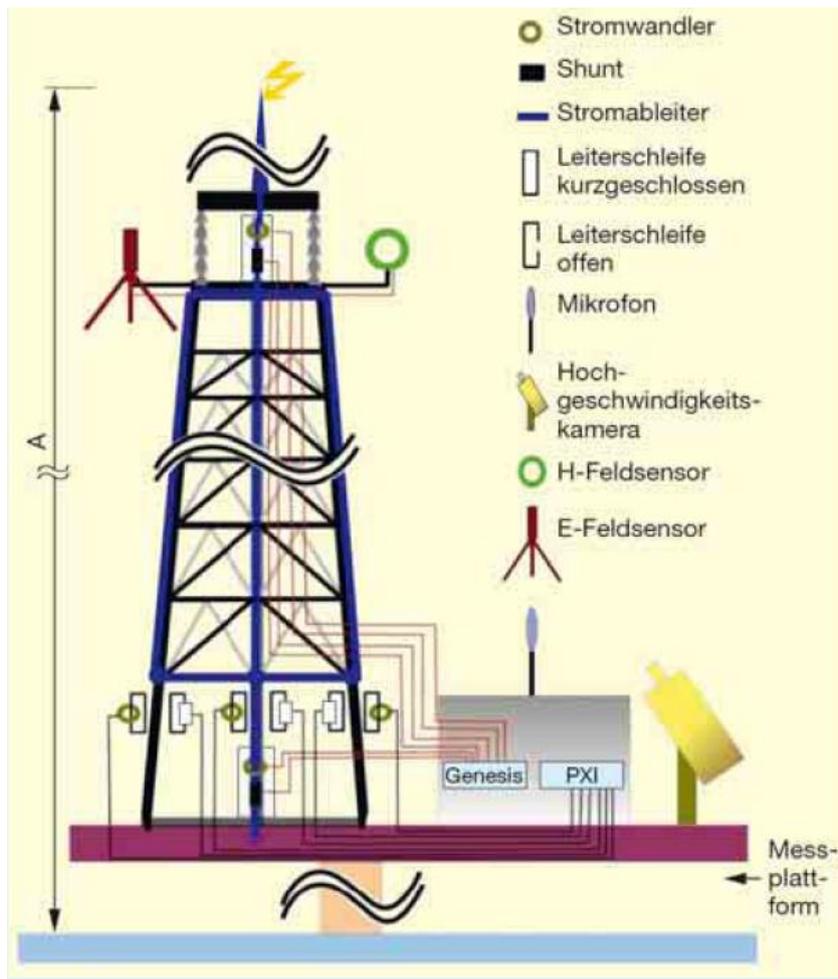


Abb. 4: Übersicht der Messpunkte

Die Funktionsweise des "Lightning-Monitoring-Systems" basiert auf der Ausnutzung des Faraday-Effekts. Bei diesem optischen Messprinzip wird die Polarisations Ebene eines Lichtsignals in einem Lichtwellenleiter magnetfeldabhängig gedreht. Das Magnetfeld entsteht durch den Strom im Blitzableiter.

Die Messsensoren sollten am Blitzstromableiter angebracht werden. Die Messdatenübertragung erfolgt mittels einer Lichtwellenleiterverbindung an eine Auswerteinheit im Messgerätecontainer. Die Installation, Inbetriebnahme und Testphase dieses Messsystems konnte im Rahmen der Projektlaufzeit nicht abgeschlossen werden .

#### 4.4 Messeinheit Turmfuß

Am Turmfuß befindet sich die Messplattform. Dort ist ebenfalls ein VA-Stahlgehäuse mit einem Shunt und einem Pearson-Wandler im Verlauf der niederimpedanten Mittelableitung angeordnet (Abbildung 5). Der Aufbau gleicht dem Gehäuse an der Turmspitze. Da nicht der gesamte Strom durch den Mittelableiter und somit durch den Shunt fließt, ist hier ein Shunt mit einer kleineren Impulsstromfestigkeit eingesetzt. Der Wandler ist ebenfalls über dem Shunt angeordnet.



Abb. 5: VA-Stahlgehäuse am Turmfuß

Die Induktionsschleifen bestehen aus einem massiven Kupferdraht, der eine offene und eine geschlossene Leiterschleife bildet.

- Mit den offenen Leiterschleifen wird die Blitzstromsteilheit  $dI/dt$  aus der gemessenen Spannung an der offenen Stelle und der Gegeninduktivität der Messschleife zum Blitzstrompfade des Eckstieles erfasst.
- Mit der kurzgeschlossenen Leiterschleife, die durch einen Pearson-Wandler geführt ist, wird der Blitzstrom gemessen.

Diese Messanordnungen befinden sich in Wetterschutzgehäusen, die an jeweils einem Eckstiel angebracht sind. Alle Leiterschleifen haben einen definierten Abstand zum jeweiligen Eckstiel, an dem sie angebracht sind (Abbildung 6).



Abb. 6: Leiterschleifen am Turmfuß

#### 4.5 Auswertung der Blitzströme

Im Messcontainer auf dem Plattformdeck sind alle Geräte zur Auswertung untergebracht. Hier werden die optischen Signale von der Turmspitze wieder in elektrische Signale umgewandelt. Ein PXI-Mess-System zeichnet die elektrischen Signale in der Messeinheit „Turmfuß“ von den Induktionsschleifen und dem Stromshunt sowie dem Pearson-Wandler auf. Sämtliche Steuerrechner und auch das Zubehör (externe Festplatten, Ethernet-Switches usw.) für die Datenaufzeichnung sind in einem 19“-Rack untergebracht. Beim Zuschalten der Versorgungsspannung fahren Steuerrechner und Genesis-Grundgerät automatisch hoch. Beide synchronisieren sich miteinander und mit Hilfe eines Software-Tools schaltet sich das Genesis-Grundgerät ein und wartet auf das Blitzereignis. Zur Aufzeichnung und Speicherung der Messdaten der Mess-Sensoren im Turmfußbereich wurde ein Mess-System der Firma National Instruments eingesetzt. Das PXI-Messsystem besteht aus einem 8 Slot 3U Chassis in dem ein PXI-Embedded-System-Controller und vier Messkarten mit je zwei Messkanälen eingebaut sind (Tabelle 2).

Anzahl	Gerät	Beschreibung
1	NI PXI – 1042	8 Slot 3U Chassis
1	NI PXI – 8196	RT NI-PXI Processor: Pentium M 2.0 GHz Controller w/Real-Time Embedded Software
1	NI PXI – 5124	Channel: 2 Bit Resolution: 12 bit Sample Rate: 200 MSa/s RAM: 256 MByte Bandwidth: 0–150 MHz Measuring time: 1,28 s with 10 ns sample interval
3	NI PXI – 5124	Channel: 2 Bit Resolution: 12 bit Sample Rate: 200 MSa/s RAM: 512 MByte Bandwidth: 0–150 MHz Measuring time: 1,28 s with 5 ns sample interval 2,56 s with 10 ns sample interval

Tab. 2: PXI-Mess-System

Ein externes Dienstleistungsunternehmen wurde zwecks Programmierfertigstellung des PXI-Messsystems beauftragt. In der ersten Bearbeitungsphase wurden Probleme mit der Hardware/Software festgestellt. Die geforderten Abtastraten von 200 MS/s pro Kanal/Karte konnten in dem Acht-Kanal-Simultan-Messbetrieb nicht erreicht werden. Unter den Anweisungen des Herstellersupports ist es gelungen, maximal 50 MS/s pro Kanal aufzuzeichnen. Bei der Festlegung unterschiedlicher Record-Längen ergab sich eine sehr hohe Arbeitsspeicherauslastung des PXI - Controllers. Zur Minimierung der hohen Arbeitsspeicherauslastung wurden verschiedene Programmieransätze getestet, die aber zu keiner Maximierung der geforderten 200 MS/s pro Kanal/Karte geführt haben.

#### 4.6 Optische Entladungsaufzeichnung

Mit einem Hochgeschwindigkeits-Kamerasystem wurden elektrische Entladungsvorgänge an der Mastspitze des Gittermastes von FINO3 aufgezeichnet. Der Montageort der Hochgeschwindigkeitskamera befindet sich auf Höhe des Helikopterlandedecks. Durch den sehr steilen Aufnahmewinkel (etwa 85 Grad) zum Gittermast benötigte die Hochgeschwindigkeitskamera eine spezielle automatisierte Sichtglasreinigung (Abbildung 7). Das Sichtglas wurde insbesondere gegen die zu

erwarteten Umwelteinflüsse von salzhaltiger Luft (Salzkruste) und Vogelexkrementen geschützt.

Die für das Reinigungssystem des Kameraschutzgehäuses erforderliche Hochdruckpumpe verursachte nach einer Umstellung der Generatoren-Steuerungsanlage einen Totalausfall der Plattformstromversorgung. Der kurzzeitige Anlaufstrom der Pumpe war für Generatorlastschutzeinrichtungen zu hoch. Nach einer Testphase ist es gelungen den Anlaufstrom mittels Vorwiderständen zu begrenzen. Die SPS-Steuerung des Kameraschutzgehäuses wurde den entsprechenden Hardwareveränderung softwareseitig angepasst. Die automatisierte Steuerungsanlage musste vor Ort neu eingestellt und teilweise umgerüstet werden.



Abb. 7: Hochgeschwindigkeitskamera am Helikopterlandedeck

### Kamerasystem

Es wurden mehrere Hochgeschwindigkeits-Kamerasysteme untersucht. Aufgrund hervorragender Eigenschaften in der Bildrate, Bildauflösung, EMV-Festigkeit und des automatisierten Speichervorgangs wurde das Model Phantom V7.3 (Fa. Vision Research) ausgewählt. Dessen technischen Daten sind:

- Auflösung: 512 x 512 Pixel
- Bittiefe Bild: 12 bit Farbe
- Bildrate: 10 000 fps
- Aufzeichnungszeit: 2,179 s
- Ringspeicher: 8 GByte.

### Optischer Messbereich

Der optische Messbereich wird mit unterschiedlichen lichtstarken Objektiven

festgelegt und erfasst. Die Brennweiten dieser Objektive liegen im Bereich von 28 mm (Weitwinkel) – 200 mm (Zoombereich).

#### Speichervorgang

Die Triggerung der Kamera wird über ein TTL-Signal ausgelöst, das aus dem PXI-System bzw. Genesis-System herausgeführt wird. Im automatischen Betrieb der Kamera wird der Bildspeicher permanent beschrieben. Bei einem TTL-Trigger-Signal wird die Aufnahme gestoppt und die Bilddaten (etwa 8 GByte) werden über Lichtwellenleiterkabel an die Datenspeichereinheit im Messcontainer übertragen. Nach abgeschlossener Bilddatenübertragung schaltet die Kamera erneut in den Aufnahmemodus.

### **4.7 Einschalten der Messgeräte vor dem Blitzereignis**

#### Donnerauslösung

Die zusätzliche Installation von Mikrofonen am Messcontainer sollte beim Auftreten von Gewittern das Donnern als Bewertungsgröße nutzen, um die Stromversorgung des Kamerasystems und der Messauswertesysteme redundant einzuschalten. Für dieses Vorhaben wurden in der ersten Messperiode Voruntersuchungen und Einstellungen getestet, um nur bei einem Donner die Auslösung zu ermöglichen. Audiostörgrößen wie Möwenrufe und Wind- und Wellengeräusche mussten ausreichend gedämpft bzw. selektiert werden. Ein Messsystem zur Schallpegelmissionsüberwachung (Fa. Brüel & Kjær) hat sich dabei als einsetzbares System erwiesen. Leider wird dieses Messsystem durch die Störimpulse der Kurzwellenfunkanlage beeinträchtigt und bis zum Ende der Projektlaufzeit wurde keine Lösung des Problems gefunden.

#### BLIDS-E-Mail-Aktivierung

Die Messgeräte auf FINO3 sollten aufgrund der knapp verfügbaren Energieressourcen nur bei Gewitteraktivitäten eingeschaltet werden. Für das Einschalten der Messgeräte wurde das Gewitterwarnsystem „BLIDS“ der Firma

Siemens eingesetzt<sup>1</sup>. BLIDS erfasst und wertet bei Blitzentladungen die geographische Lage aus. Ein einstellbares geographisches Überwachungsgebiet um die Forschungsplattform sollte ein sicheres Einschalten der Messsysteme bei Gewitteraktivitäten gewährleisten. Treten in der Überwachungszone atmosphärische Entladungen auf, erhält das Mess-System auf FINO3 eine E-Mail-Nachricht, die als Einschaltsignal für die Messgeräte vorgesehen ist. In einer weiteren Zusammenarbeit mit der Firma Siemens AG wurden die auf FINO3 gesammelten Messdaten miteinander verglichen. Hierbei ergaben sich interessante Aufschlüsse auf die Zuverlässigkeit und Messgenauigkeit beider Messeinrichtungen. Es wurden regelmäßige Wartungsarbeiten an dem E-Mail-Weiterleitungssystem (Standort: FH-Kiel) durchgeführt.

Ob die erfassten Werte für eine Gewitterdetektion ausreichen, musste auf FINO3 mit einem Feldmühlenmesssystem vor Ort untersucht werden. In der Praxis wird eine sogenannte Feldmühle für diesen Messzweck eingesetzt. Es bestanden allerdings Zweifel über die Genauigkeit dieser Art von Messungen, da die elektrostatischen Feldlinien vermutlich vom Gittermast stark abgelenkt werden. Daher wurden zunächst in dem Hochspannungslabor der FH-Kiel Untersuchungen zu der Beeinflussung von elektrostatischen Feldlinien durchgeführt. Die Beeinflussung durch eine Metall-Stange neben der Feldmühle konnte in einem Laborversuch nachgewiesen werden. Eine Messung des elektrostatischen Feldes auf der Forschungsplattform würde daher keine exakten Werte liefern können. Die Überprüfung dieser Annahme konnte während der Projektlaufzeit nicht mehr bewiesen werden.

## **5. Auswertung eines Blitzereignisses**

Am 26.11.2009 wurde ein Blitzeinschlag mit dem Genesis-Messsystem aufgezeichnet. Das Blitzereignis konnte durch BLIDS messtechnisch bestätigt werden (Abbildung 8 / Tabelle 3). Ein Vergleich mit den Messdaten zeigt eine Übereinstimmung mit der Spitzenamplitude von etwa 30 kA.

Der Entladungsverlauf weist mehrere Einzelimpulse mit Amplituden  $> 10$  kA auf (Abbildung 9a), die in einem Zeitraum von 10–15 ms auftreten. Sie sind einer

---

<sup>1</sup> BLIDS: German lightning detection and information system. Informationsdienst von Siemens zu Gewitterblitzen in Deutschland, der Schweiz, Polen, Benelux, Tschechien, Slowakei und Ungarn.

stationären Entladung mit einem Scheitelwert von etwa 2 kA, die insgesamt über etwa 50 ms ansteht, überlagert.

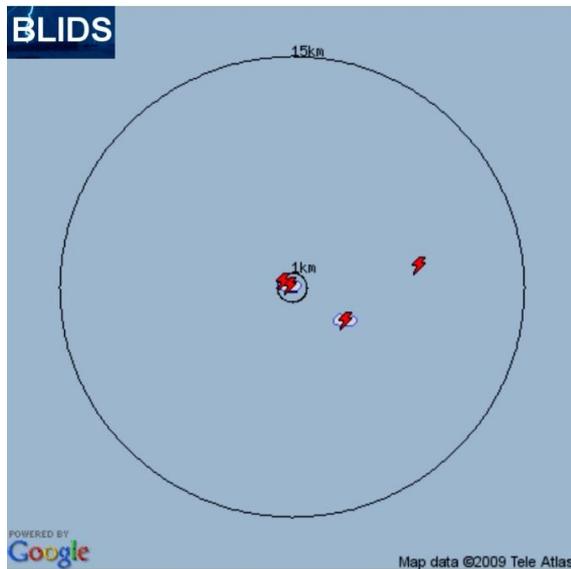


Abb. 8: Siemens-BLIDS-Karte

Time (Zeitpunkt)	longtude (Längengrad)	latitude (Breitengrad)	type (Typ)	carrent peak (Stromspitze)	dlstance (Entfernung)
26.11.2009 19:51:46	7.155°	55.155°	cloud (Wolke)	- 23,8 kA	0,2 km
26.11.2009 19:51:46	7.150°	55.198°	earth (Erde)	- 29,3 kA	0,6 km
26.11.2009 08:06:37	7.213°	55.175°	cloud (Wolke)	15,5 kA	4,1 km
26.11.2009 08:06:37	7.286°	55.207°	earth (Erde)	17,2 kA	8,2 km

Tab. 3: Siemens-BLIDS-Messdaten

Der erste deutliche Entladungsimpuls tritt mit einer Amplitude von 11,5 – 12 kA aus einer unterlegten Grundentladung heraus (Abbildung 9b) auf, die sich im Mittel zwischen 0 und 3 kA ausbildet. Ihre maximale Steilheit liegt bei etwa 1,3 kA/μs, was einer Stirnzeit von 11 μs entspricht. Die gesamte Entladung dieses einzelnen Impulses liegt nur bei etwa 20μs.

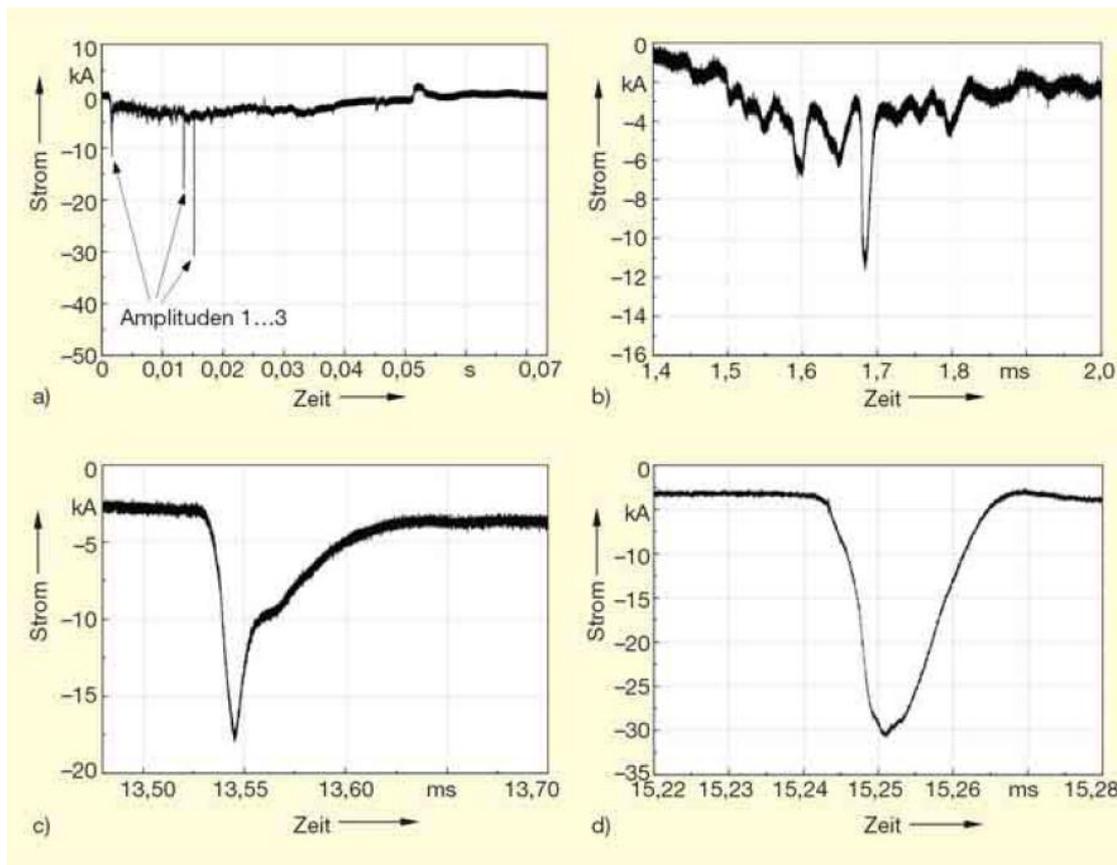


Abb. 9: Blitzstromverlauf mit mehreren Einzelimpulsen; a) Blitzstromverlauf mit drei Amplituden; b) erste impulsartige Entladung; c) zweite impulsartige Entladung; d) dritte impulsartige Entladung

Etwa 10 ms nach der ersten impulsartigen Entladung tritt eine weitere auf (Abbildung 9c), die sich von der ersten Entladung durch ihre längere Impulsdauer unterscheidet. So liegt zwar die Stirnzeit in der gleichen Größenordnung wie die der ersten impulsartigen Entladung, jedoch ist die Rückenhalbwertzeit mit etwa  $50\mu\text{s}$  um einen Faktor von 2 bis 3 größer und der Impuls klingt nach einer Gesamtzeit von etwa  $100\mu\text{s}$  wieder ab.

Der dritte Entladungsimpuls liefert mit  $30\text{ kA}$  die größte Amplitude und weist bei einer Stirnzeit von nur  $7\mu\text{s}$  die höchste Steilheit mit etwa  $4\text{ kA}/\mu\text{s}$  (Abbildung 9d) auf. Tabelle 4 enthält weitere Daten zu diesem Blitzereignis.

## 6. Fazit des Gesamtprojektes

Dreieinhalb Jahre waren für den Aufbau der komplexen Messvorrichtung und den Widrigkeiten, die sich Offshore ergaben, zu kurz, um aussagekräftige Ergebnisse, welche statistisch untermauert sind, zu erzielen. Die Windkrafthersteller können nur

nach einer hinreichend langen Messzeit Informationen zur Blitzeinschlagswahrscheinlichkeit von Windkraftanlagen in Offshore-Bereichen erhalten. Zudem war der Zeitraum der Messungen zu kurz, um Parameter hinsichtlich der Blitzschutzmaßnahmen zu benennen und EMV-Störfestigkeitsanforderungen von elektrischen und elektronischen Komponenten, die beispielsweise im Maschinenhaus vorhanden sind, zu definieren.

Die Fortsetzung der Messungen sollten auf jeden Fall noch über weitere Jahre vorgenommen werden, um eindeutige Blitzentladungsdetails (elektrisch und optisch) aufzeichnen und auswerten zu können und statistische Auswertung im Bereich der künftigen Offshore-Anlagen erzielen zu können.

Die statistische Auswertung der Blitzereignisse und die Auswertung der Blitzparameter ist langfristig das wichtigste Ziel. Es wird permanent an Lösungen gearbeitet, um in relativ kurzer Zeit mehrere Ergebnisse erzielen zu können. Ein wichtiger Punkt hierbei ist die Aufzeichnung von Blitzeinschlagsuntersuchungen über Antennen und akustischen Detektoren für Entladungen in größerer Entfernung vom Messmast.

Langjährige Blitzmessungen erhöhen die statistisch ermittelten Ergebnisse. Dieses wird besonders unter einem sich abzeichnenden Klimawandel sinnvoll sein. Wird durch den erkennbaren Klimawandel die Blitzhäufigkeit bzw. werden die Blitzstromparameter verändert? Diese Erkenntnisse sind von Bedeutung, um auch dann den wirtschaftlichen Vorteilen hinsichtlich der notwendigen Auslegung von Industrieobjekten gegen Blitzeinwirkung gerecht zu werden. Ferner bleibt wegen der langen Installationszeit der Messeinrichtungen und der relativ kurzen Messzeit die Frage unbeantwortet, ob das niederohmige Meerwasser die Blitzstromsteilheit bei der Blitzstromableitung verglichen mit onshore Entladungen erhöht und zusätzliches Gefährdungspotential für die installierten, empfindlichen elektronischen und elektrischen Geräte der offshore-Anlagen (z.B. im Maschinenhaus) aus EMV-Sicht hervorruft.

## 7. Veröffentlichungen

Datum	Veranstaltung	Thema	Autor	Ort
Okt. 2010	8. ABB/VDE Blitzschutztagung	Blitzstrommessungen für künftige Offshore- Windparks in der Nordsee	K. Scheibe C. Birk S. Schmarbeck	Neu-Ulm
Mai. 2011	GL Garrad Hassan	Lightning Research for Offshore-Wind Farms in the North Sea	K. Scheibe C. Birk	Hamburg
Okt. 2011	9. ABB/VDE Blitzschutztagung	Blitzstrommessungen für künftige Offshore- Windparks in der Nordsee	K. Scheibe C. Birk	Neu-Ulm
Nov. 2011	XI SIPDA Internationales Symposium Blitzforschung und Blitzschutz	Lightning Current Measurement in the area of future off-shore windparks in the North Sea	K. Scheibe C. Birk	Fortaleza /Brasilien
Juni 2012	Beitrag in der ep	Blitzstrommessungen in der Nordsee	K. Scheibe C. Birk	