



Quelle: Nico Krauss

Blitzschutzsysteme auf Segelyachten

EIN BEISPIEL AUS DER PRAXIS Im Zuge des Neubaus einer Yacht des Typs »New Hanse 575« sollten umfassende Blitzschutzmaßnahmen umgesetzt werden. Die Yacht wurde nach Fertigstellung in den asiatischen Raum ausgeliefert. Der Eigner lebt auf dem Schiff und segelt dieses in den Gewässern vor Hongkong. Die Blitzhäufigkeit ist in dieser Region um den Faktor fünf bis sieben höher als in Europa.



AUF EINEN BLICK

BLITZSCHUTZ TROTZ FEHLENDER NORM In einem Musterprojekt konnte ein äußeres und inneres Blitzschutzsystem errichtet werden, das sich an der deutschen Blitzschutznormung orientiert

PROJEKT MIT MODELLCHARAKTER Neben wissenschaftlichen Untersuchungen zur Blitzschutz-Wirksamkeit konnte auch die praktische Umsetzung im Zuge eines Bootsneubaus nachgewiesen werden

Für den Auftraggeber stand die Realisierung eines vollständigen Blitzschutzes bei dieser Investitionssumme nicht in Frage, musste er sich in seinem Berufsleben bereits ausführlich

mit Blitzschutz an Anlagen zur Erzeugung regenerativer Energien auseinandersetzen. Er kennt die Gefahren und Auswirkungen, die von einem Blitzeinschlag ausgehen können.

Blitzschutz lohnt sich

Seeleute werden nur noch selten von heranahenden Gewittern überrascht, da Wettervorhersagen heute sehr zuverlässig geworden sind. Ein Ausweichen vor Gewitterfronten ist auf offener See allerdings kaum möglich – anders als beispielsweise in der Luffahrt, wo diese Zonen nach Möglichkeit weiträumig umflogen werden. Seeleute der Berufsschifffahrt und Freizeitskipper durchqueren diese Gebiete in der Regel. Gewitterfronten bringen häufig böige Starkwinde und Regenschauer mit sich.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit wirksamen Schutzmaßnahmen, die Segelyachten auch direkte Blitzeinschläge unbeschadet

überstehen lassen. Auswirkungen von Blitzeinschlägen auf Schiffen der Berufsschifffahrt bleiben in diesem Bericht unberücksichtigt.

Bevorzugt schlägt der Blitz in exponierte Objekte ein, die ihre Umgebung deutlich überragen. Auf offener See ist der Einschlag in den hohen Mast eines Sportbootes daher nicht unwahrscheinlich. Die großen Blitzstoßströme führen im ungeschützten Schiff zu erheblichen Schäden am Rigg, am Schiffskörper und an der Bordelektrik – z. B. den Navigations- und Kommunikationssystemen. Dies kann die Crew im Extremfall in Seenot bringen.

Die Blitzströme werden durch ein funktionsfähiges Blitzschutzsystem über außen liegende Fang- und Ableitungen zum Kiel und in das Wasser abgeleitet. Dadurch wird das Eindringen der Blitzströme in das Innere des Schiffes minimiert, wo vagabundierende Ströme auf ihrem Weg in das Wasser unkontrolliert Schäden anrichten könnten. Ein unter dem Kiel gezogenes Kupferseil, das mit Klemmen an Mast und Stagen befestigt wird, ist eine riskante Notlösung, denn nur ein fest montiertes Blitzschutzsystem verhindert zuverlässig Schäden. Ein fachgerecht installiertes Blitzschutzsystem wirkt zudem als vorbeugende Brandschutzmaßnahme.

Je nach Revier sind unterschiedliche Gewitterhäufigkeiten zu erwarten. Im Eismeer sowie am Nordpol sind es 0, in der Ost- und Nordsee 15, im Mittelmeer 30, in den Tropen bis zu 140 Gewittertage pro Jahr [1]. Krängt sich das Schiff bei Wellengang und Winddruck, so können auch die Saling, die Wanten oder Stage

Einschlagpunkte bilden. Dies ist beim Entwurf des Blitzschutzes und der Dimensionierung der Wanten und Stage zu berücksichtigen.

Bei Blitzgefahr gilt als Verhaltensregel an Bord, dass Personen zu Teilen des Blitzschutzsystems (Wante, Stage und Mast) einen Sicherheitsabstand (einige 10cm) einhalten sollten, damit Überschläge vermieden werden [1]. In schwerer See schützt sich die Crew an Oberdeck mittels Sicherungsvorrichtungen, z. B. Lifebelts, gegen das Überbord-Fallen. Verbindungsmittel dieser Gurtgeschirre bestehen in der Regel aus einem Nylongurt mit zwei oder drei Karabinerhaken. Beim Segeln in einer Gewitterzone ist die See oftmals unruhig, so dass sich die Mannschaft an Bord sichern muss. Das Einhalten der Mindestabstände kann dann in Einzelsituationen nicht möglich sein. Hier geht der Personenschutz gegen Abrutschen von Deck vor.

Grundlagenermittlung und Aufgabenstellung

Auf Veranlassung des Eigners sollte für eine Segelyacht ein äußeres und inneres Blitzschutzsystem geplant und im Zuge des Neubaus realisiert werden.

Bei dem zu schützenden Objekt handelte es sich um eine New Hanse 575 des deutschen Herstellers HanseYachts AG (Greifswald) (**Bild 1**). Das Boot hat eine Rumpflänge von 16,70m und eine maximale Breite von 5,20m. Der Bootsrumpf besteht aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. Seine

Wasserverdrängung beträgt 19,5t. Die Mastlänge oberhalb der Wasserlinie wird gemäß Datenblatt mit 25,3m angegeben. Die Yacht ist mit der CE-Zertifizierung der Kategorie A (Ozean) unbegrenzt hochseetauglich. Als Antrieb dient ein Dieselaggregat mit 78kW Leistung. Die elektrischen Betriebsmittel werden über ein bordeigenes Batteriesystem versorgt.

Vorplanung – Festlegung der Schutzziele

Für Blitzschutz auf Yachten gibt es im nationalen DIN-VDE-Vorschriftenwerk keine anerkannte Regel der Technik, welche die Planung und Ausführung von Schutzmaßnahmen beschreibt. International existiert die ISO 10134 »Small craft – Electrical devices – Lightning protection« [2]. Diese findet jedoch in Deutschland keine Anwendung, da eine entsprechende nationale Einbindung fehlt.

Zunächst war festzulegen, auf welcher, für Dritte nachvollziehbaren, Grundlage die Planung der Schutzmaßnahmen erfolgen soll. Man einigte sich mit dem Eigner darauf, dass Design und Ausführung in Anlehnung an die DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) »Blitzschutz – Schutz von baulichen Anlagen und Personen« [3] erfolgen soll. Auf Grundlage dieser Norm wurde festgelegt, dass die Yacht ein Schutzsystem der Blitzschutzklasse III erhalten soll. Damit waren die für die weitere Planung wichtigen Randparameter, z. B. der maximale Scheitelwert des positiven Erstblitzes mit 100kA sowie der kleinste Scheitelwert des Blitzstroms mit 10kA und der zugehörige Radius der Blitzkugel mit 45m, festgelegt. Der im Folgenden verwendete Begriff des »Erders« bezieht sich auf den Teil des Blitzschutzsystems, der mit dem Wasser unter dem Schiffsrumpf in Berührung steht.



Bild 1: Aufbau der NewHanse 575

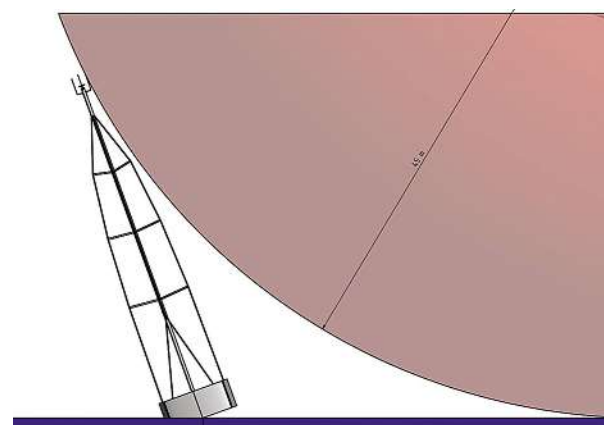


Bild 2: Anwendung des Blitzkugelverfahrens

Quelle: Thormählen/ Kieler

Quelle: Thormählen/ Kieler

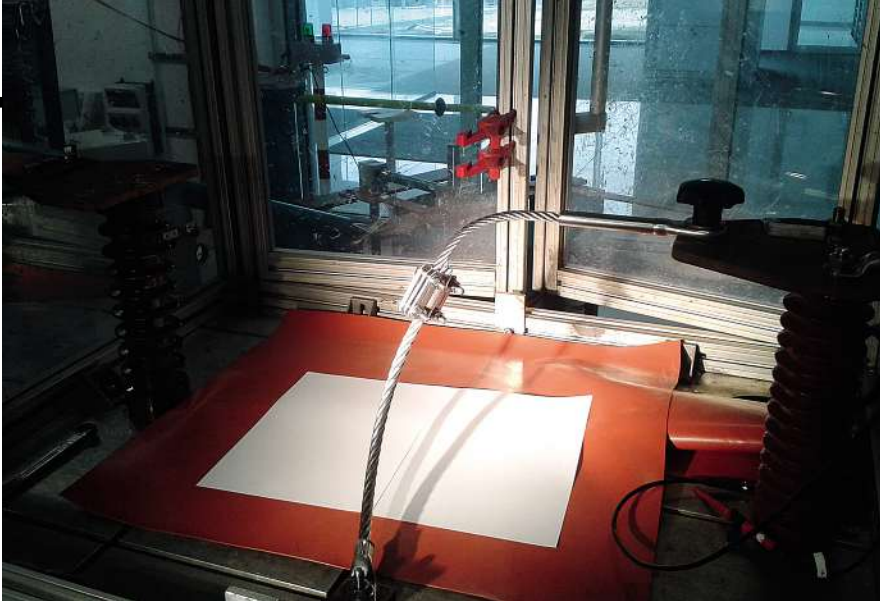


Bild 3: Versuchsaufbau der Hochstromprüfung

Festlegung möglicher Einschlagpunkte

Das aus dem elektrogeometrischen Modell abgeleitete Blitzkugelverfahren erlaubt es am Schiffsmodell oder am Computer mögliche Blitzeinschlagpunkte zu bestimmen. Hierzu wird eine maßstabsgerechte Blitzkugel mit dem Radius 45 m am Modell entlang bewegt. Alle Punkte, die von der Blitzkugel berührt werden, sind mögliche Einschlagpunkte. Diese Modellierung erfolgte in normalen Lagen des Bootes, eine Krängung wurde in Abstimmung mit dem Eigner bis 20° betrachtet (**Bild 2**).

Bevorzugte Einschlagpunkte des Blitzes ergeben sich im Bereich des Masttopps. Diese Bereiche sind wirksam mit Fangeinrichtungen zu schützen. Bei noch deutlicherer Krängung ($> 20^\circ$) der Yacht können auch die oberen und mittleren Salinge sowie die Oberwanten und die Vor- oder Achterstage zu Einschlagpunkten werden. Diese dienen als natürliche Bestandteile der Fangeinrichtung des äußeren Blitzschutzsystems. Ein Einschlag in die Mittelwanten ist bei dieser Betrachtung auszuschließen.

Oberwanten, Unterwanten, Achterstag und Vorstag bilden natürliche Bestandteile des äußeren Blitzschutzsystems. Je nachdem, wo der Blitz einschlägt, dienen sie als Fangeinrichtung oder als Ableitungseinrichtung. Schlägt der Blitz direkt in diese Edelstahlseile, so sind zusätzlich die vielfach dem stromstarken Erstblitz folgenden Langzeitströme zu berücksichtigen. Diese können durch ihre lange Fließdauer einen Abbrand am Seil mit Querschnittminderung verursachen, was im schlimmsten Fall dazu führen kann, dass nach einem Blitzeinschlag in die Seile der Mast verloren geht. Mit einem Mastverlust bei Seilen unter 5 mm Durchmesser muss gerechnet werden [1].

Die NewHanse 575 verwendet für die Wanten und Stage der Suptakelung Seil-

durchmesser von 10 bis 12 mm. Die Einzeldrähte dieser Seile weisen einen Durchmesser von ca. 1,5 mm auf und sind in Paaren verdreht. Somit ergeben sich Seilquerschnitte von 42 mm^2 bzw. 58 mm^2 .



Bild 4: Fangeinrichtung am Masttopp

Hochstromprüfung im Labor

Zur Prüfung ihrer Eignung als natürliche Bestandteile des Blitzschutzsystems wurden die bei der NewHanse eingesetzten Edelstahlseile (W.-Nr. 1.4401) im Hochstromlabor des Forschungs- und Technologiezentrums der Phoenix Contact GmbH auf ihre Stoßstrombelastbarkeit geprüft. In einem Kurzschlussstest wurden Blitzströme (Impulsform $10/350 \mu\text{s}$) von bis zu 68 kA in eine Seilschleife eingespeist. Den Versuchsaufbau zeigt **Bild 3**. Es wurden mehrere Stoßstromprüfungen an Edelstahlseilen mit den Durchmessern 10 mm (42 mm^2) und 12 mm (58 mm^2) durchgeführt. Die Seile wurden über eine Edelstahlkreuzklemme miteinander verbunden. An den äußeren Seilenden waren elektrohydraulisch verpresste Edelstahlkabelschuhe der Firma Weitkowitz, Peine, montiert. Als Vergleichsprüfling wurde ein Edelstahlseil mit 6,2 mm Durchmesser (16 mm^2) benutzt.

Erläuterung des Prüfergebnisses

Das Edelstahlseil mit dem Querschnitt 16 mm^2 glühte bei 50 kA Stromdurchgang auf. Es zeigte nach der Stoßstrombelastung deutliche Veränderungen hinsichtlich seiner Elastizität und Farbe. Die Stoßströme wurden von den Edelstahlseilen der Durchmesser 10 mm und 12 mm, den Edelstahlkabelschuhen und den Anschlussklemmen innerhalb zulässiger Temperaturerhöhungen sicher geführt. Die Stahlseile

der Querschnitte 42 mm^2 und 58 mm^2 zeigten nach der Stoßstrombelastung keine erkennbaren Veränderungen. Hochgeschwindigkeitskameraaufnahmen der Prüfungen belegten leichte Sprühwirkungen beim Blitzstromdurchgang an den Edelstahlanschlussklemmen. Am Seil und an den Kabelschuhen treten diese in der Praxis ungefährlichen Effekte nicht auf [4].

Planung des äußeren Blitzschutzsystems

Bei der Ausführungsplanung des äußeren Blitzschutzsystems wurde besondere Aufmerksamkeit auf den Masttopp gelegt. Hier sind empfindliche Endgeräte installiert, z. B. UKW-AIS-Antenne, Windgeschwindigkeits- und Richtungsmesser. Ferner befinden sich Positions- und Arbeitsleuchten am Mast sowie in Höhe der untersten Saling das Radar.



Quelle: Thormählen/Krieler

Bild 5: Relingstütze, im Randbereich der Rumpfschale verschraubt



Quelle: Thormählen/Krieler

Bild 7: Lage der Anschlussfahnen und Ableitungen im Schiffsrumpf



Quelle: Thormählen/Krieler

Bild 9: Als Erdungssystem dient hier der Stahlkiel (Gusseisen)



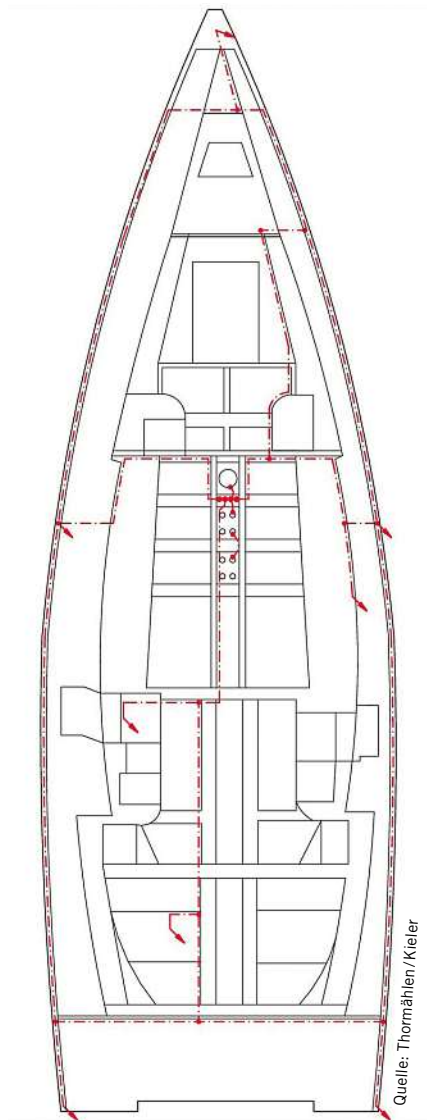
Quelle: Thormählen/Krieler

Bild 6: Anschluss der Relingstütze

Mit dem Blitzkugelverfahren wurde geometrisch nachgewiesen, dass eine speziell konzipierte Blitz-Fangstange diese Betriebsmittel in den Schutzbereich bringt. Es handelt sich um eine nicht getrennte Fangeinrichtung, da eine leitende Verbindung zwischen Fangstange und Aluminiummast besteht. Der Einsatz einer vom Mast getrennten Fangeinrichtung, die über eine hochspannungsfest isolierte Ableitung an diesem heruntergeführt wird, scheidet aus, da die Hersteller für diese Produkte keine Seewasserbeständigkeit garantieren.

Die im Randbereich der Rumpfschale verschraubten Püttinge und Relingstützen (**Bilder 5 und 6**) wurden an einer unter Deck verlegten Sammelleitung blitzstromtragfähig angeschlossen. Diese Sammelleitung dient dazu, Blitzteilströme aus den Wanten und Stagen sowie dem Mast zu symmetrieren und auszuleiten. Aufgrund ihres großen Querschnitts wirkt sie auch als impedanzarme Potentialausgleichsleitung, an der Überspannungsschutzeinrichtungen und weitere metallene Bestandteile auf Deck (z.B. Bug- und Heckkorb) angeschlossen wurden.

Von der Sammelleitung führen fünf Ableitungen in der Rumpfschale zu zwei Erdungs-



Quelle: Thormählen/Krieler

Bild 8: Erdungsschiene für das spätere Lösen der Verbindungsleitungen, z.B. zu Prüfzwecken

schiene, die am Befestigungselement des Kiels montiert wurden. Diese Erdungsschiene ermöglichen das spätere Lösen der

Verbindungsleitungen, z.B. zu Prüfzwecken (**Bilder 7 und 8**).

Der gusseiserne T-Kiel wird als »Erdungssystem« verwendet (**Bild 9**). Hierzu muss dieser zwei Bedingungen bezüglich der Mindestfläche und elektrischen Leitfähigkeit erfüllen. Die wirksame »Erderfläche« muss mindestens 500 mm x 500 mm (0,25 m²) betragen [3]. Mit einer wasserbenetzten Fläche von 9,4 m² übertrifft der eingesetzte Kiel die erforderliche Mindestfläche um ein Vielfaches. Die Beurteilung der elektrischen Leitfähigkeit ergibt, dass der Kiel kein blanker, nichtisolierter Leiter im Sinne der VDE 0100-200 ist, da er mit Beschichtungen (Gelcoat, Antifouling) versehen ist.

Die Forderung die wirksame Erderfläche am Kiel frei von Farbanstrichen zu halten, da diese isolierend wirken würden, bezweifeln die Verfasser. Zum einen stellt die Dicke der Farbschicht für den Blitz kein Hindernis dar. Zum anderen ergibt sich durch die große Fläche eine erhebliche kapazitive Wirkung, die eine Einleitung des Blitzstroms in das Wasser ermöglichen wird [5].

Planung des inneren Blitzschutzsystems

Bei der Planung des inneren Blitzschutzes, das waren in erster Linie Maßnahmen des Überspannungsschutzes, war eine vorherige Abstimmung mit dem Eigner unumgänglich. In der Yacht sind zirka 140 elektrische Betriebsmittel verbaut. Die Beschaltung aller elektrischen Betriebsmittel mit Überspannungsschutzgeräten wurde wirtschaftlich verworfen. Eine etwaige Störung des TV-Geräts nach einem Direkttreffer an Bord wurde als hinnehmbar, Störungen an der Steuerung und Antrieb der Ruderanlage oder der Navigations- und Kommunikationssysteme hin-

Quelle: Thormählen/Kieler

Stromkreis / Betriebsmittel	Art. Nummer	Eigenschaften	Überspannungsschutzeinrichtung	
Shore connection 1 Landanschluss	2800187	230 V/16 A	3 x 2,5 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Shore connection 1 Landanschluss	2800187	230 V/32 A	3 x 6 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Generator	2800187	400 V/6,4 kW	3 x 4 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
DC Main distribution Panel	2800187	230V/12V	6 x 6 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
VS Stb. Aircon 1	2800187	230 V/16 A	3 x 1,5 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Salon Aircon 2 and 3	2800187	230 V/16 A	3 x 1,5 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
AS Bb. Aircon 4	2800187	230 V/16 A	3 x 1,5 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Aircon pump	2800187	230 V/10 A	3 x 1,5 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Auxiliary socket	2800187	230 V/16 A		SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Control	2800187	12V	7 x 1,5 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Deck Mast	2882682	12V	3 x 50 mm ²	SPD Typ I FLT-CP-PLUS-1S-350
Deck Bow	2800187	12V	2 x 4 mm ²	SPD Typ I VAL-MS-T1/T2
Levmar V3	2882682	12V	2 x 50 mm ²	SPD Typ I FLT-CP-PLUS-1S-350

◀ Bild 10: Auszug aus der Betriebsmittelliste mit der Beschaltung von Überspannungsschutzeinrichtungen

Das Vorgehen bei der Schutzbeschaltung war einheitlich. Nach Festlegung der zu schützenden Betriebsmittel erfolgte die Auswahl der Schutzgeräte anhand von Datenblättern und Stromlaufplänen. Die Schutzbeschaltungen wurden in den Stromlaufplänen dokumentiert. Letztere bilden einen wesentlichen Bestandteil der Dokumentation, die an den Eigentümer übergeben wurde. Ein Beispiel zeigen die **Bilder 11 und 12**.

Eine große Herausforderung beim Einbau der Schutzgeräte bestand darin, eine eindeutige Trennung der geschützten und ungeschützten Leitungen sicherzustellen, damit sich Störungen nicht wieder einkoppeln können. **Bilder 13 und 14** zeigen die EMV-gerechte Leitungsführung beim Einbau der Schutzgeräte für das Radar und an der Hauptverteilung.

gegen als nicht akzeptabel bewertet. Die Beurteilung erfolgte zusammen mit dem Eigner der Yacht, so dass gerätebezogene Schutzmaßnahmen festgelegt werden konnten. Hierzu wurde eine Betriebsmittelliste erstellt. Einen Auszug zeigt **Bild 10**.

Nach zahlreichen Abstimmungsgesprächen wurden auf der NewHanse schließlich 54 der 138 Betriebsmittel mit Überspannungsschutzeinrichtungen versehen. Die Schutzgeräte wurden fast ausnahmslos in Isolierstoffgehäusen der Schutzklasse IP 65 (z. B. Spelsberg) eingebaut, um diese dauerhaft vor Verschmutzungen (Staub) und vor allem Strahlwasser zu schützen. Die Platzverhältnisse an Bord sind sehr begrenzt. Seitens

der Werft werden Betriebsmittel in kleinste Nischen der Yacht verbaut.

Folgende bedeutsame elektrische Betriebsmittel wurden mit Überspannungsschutzeinrichtungen geschützt: Hauptverteilung (Trenntrafo, Landanschluss, 230 V), Generator (400 V, 6,3 kW), AIS-Antenne, UKW/DVBT-Antenne, Radar, Windmesser, Zentralrechner, Navigationssysteme, Bug- und Heckstrahlruder, alle Bilgenpumpen, Anlasser und Motorsteuerung, Ankerwinde, alle Motorwünschen, Positionslichter, Ankerlicht, Steaming light, Decksbeleuchtung (Mast), Informationsdisplay Ruderstand, Beleuchtungen an beiden Kompassständen und alle Klimaanlage.

Monitoring der Schutzmaßnahmen

Zur Erfassung von Blitzereignissen wurde auf der NewHanse 575 ein Blitzstromzähler installiert (**Bild 15**). Dieser registriert transiente Blitzereignisse und speichert sie ab. Somit findet eine ständige Kontrolle statt, ob ein Blitzeinschlag in das Schutzsystem erfolgte. Es werden Impulsströme von 0,3 kA bis 100 kA erfasst. Diese Werte lassen sich jederzeit – auch im Zuge einer Inspektion – an der digitalen Anzeige ablesen. In der NewHanse wurde der Blitzstromzähler (Schutzart IP67) in der Ableitung am Mastfuß installiert.

Quelle: Thormählen/Kieler

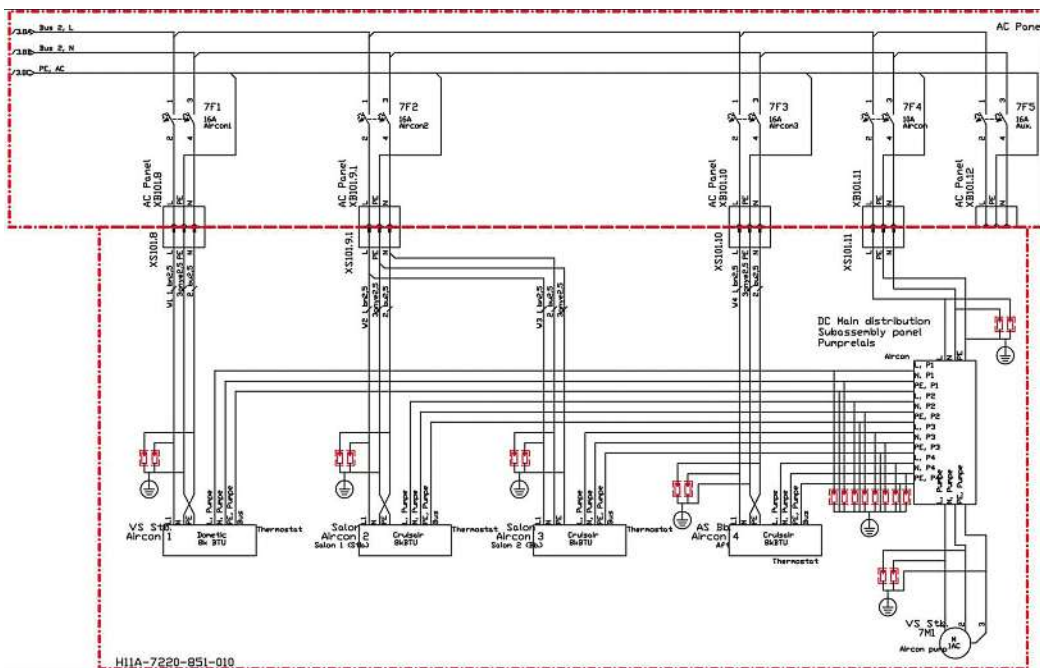


Bild 11: Schema des Überspannungsschutzes der Klimaanlage im Salon 2



Quelle: Thormählen/Kieler

Bild 12: Ansicht der Installation des Überspannungsschutzes der Klimaanlage im Salon 2

Resümee des Bauablaufs

Die Installation eines äußeren und inneren Blitzschutzsystems auf einem Segelboot unterscheidet sich erheblich von der Installation auf einem Gebäude. Der Bootsbau der Segelyacht erfolgte als Serienfertigung in einem eng getaktetem Zweischichtbetrieb. Alle Projektschritte waren zeitlich und örtlich aufeinander abgestimmt. Innerhalb dieser Prozessschritte war die Montage der Komponenten des Blitzschutzsystems nicht möglich, da unzählige Handwerker auf kleinstem Raum arbeiteten. Eine gleichzeitige Installation der Blitzschutzmaßnahmen hätte diese Arbeitsschritte aus dem Takt gebracht. Dies ließ die Werft schon aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu. Die Montage der Komponenten des Blitzschutzes erfolgte daher in weiten Teilen nachts in der dritten Schicht. Als sehr vorteilhaft erwies sich, dass der Projektleiter dem Thema Blitzschutz aufgeschlossen gegenüberstand. Dies förderte den Projektablauf, schließlich war der Projektleiter auf rechtzei-



Quelle: Thormählen/Kieler

Bild 13: Überspannungsschutz des Radars (während der Montage)



Quelle: Thormählen/Kieler

Bild 14: Überspannungsschutzeinrichtungen in der Niederspannungs-Hauptverteilung

tige und vollständige Angaben seitens der Bootsbauer angewiesen.

Da die Rumpfschale im Ausland gefertigt wurde, musste zunächst das Eintreffen dieses Bauteils in der Werft abgewartet werden. Hierbei ging wertvolle Zeit verloren. Im Falle der Fertigung vor Ort hätten die Bestandteile der Ableitungseinrichtungen schon in den Bootsrumpf eingelegt werden können.

Eine Besonderheit stellte die räumliche Enge auf der Segelyacht dar. Hier sind zahlreiche Nischen und Hohlräume mit Schiffskomponenten und Technik verbaut. Zum einen erschwerte dies die Platzierung der Schutzkästen für die Überspannungsschutzeinrichtungen, andererseits war die sorgfältige Trennung der geschützten und ungeschützten Leitungen der Energie und Informationstechnik nicht unkompliziert.



Quelle: Thormählen/Kieler

Bild 15: Blitzstromzähler zur Erfassung von Blitzereignissen

Fazit

Es bleibt abschließend festzustellen, dass die in diesem Projekt realisierten Maßnahmen des Blitzschutzes auch elegant in die Serienfertigung des Sportbootsbaus implementiert werden könnten. Hierzu bedarf es einer rechtzeitigen Beratung des Käufers durch den Vertriebsmitarbeiter. Leider haben weder Geschäfts- noch Vertriebsleitungen der Werften diesen Mehrwert bislang erkannt.

LITERATURHINWEISE IM TEXT

- [1] ABB-Merkblatt Blitzschutz auf Yachten: 2005-11; VDE/ABB, Frankfurt
- [2] ISO 10134 Second edition: 2003-08-15; Small craft – Electrical devices – Lightning-protection systems
- [3] DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2011-10; Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen, VDE Verlag GmbH, Berlin – Offenbach
- [4] Test report No. PB 14110 über die Prüfung von Edelstahlseilen mit Kabelschuhen verpresst, 21.03.2014, Forschungs- und Technologiezentrum der Phoenix Contact GmbH, Blomberg
- [5] Hermann, M.: Blitzschutz auf Yachten: 2011, Palstek Verlag, Hamburg.

WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- DIN VDE 0100-540 (VDE 0100-540):2012-06, Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter; VDE Verlag GmbH, Berlin – Offenbach
- DIN EN ISO 10133:2011-05; Entwurf: Kleine Wasserfahrzeuge – Elektrische Systeme – Kleinspannungs-Gleichstrom-(DC-)Anlagen (ISO/DIS 10133:2011); Deutsche Fassung prEN ISO10133:2011
- Hasse, P.; Wiesinger, J.; Zischank, W.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung, Pflaum Verlag München / VDE Verlag GmbH, Berlin – Offenbach.

AUTOREN

Dipl.-Ing Reyno Thormählen
Hans Thormählen GmbH & Co. KG,
Großenmeer, reyno@thormaehlen.de

Michael Kieler
Thor-Donar GmbH, Hamburg,
mkieler@thor-donar.com