

Wassersportkasko-Tagung 2007

Von Hightechmaterialien über Blitzschlag
zur Bootsidentifizierung

Inhaltsverzeichnis

Programm Wassersportkasko-Tagung 2007 5

Blitzschäden an Wassersportfahrzeugen 9
 Rainer Klotz (Sachverständigen Büro Rainer Klotz, München)

Bootsbau von NULL bis FERTIG - vom Einbaum bis zur Superyacht..... 45
 Stefan Zucker (Zucker & Partner, Hamburg)

Sicherheit in der Sportschiffahrt 73
 Jörg Kaufmann (Bundesstelle für Seeunfalluntersuchung, Hamburg)

Deregulierung der Wassersportführerscheine 89
 Jürgen Tracht (Bundesverband Wassersportwirtschaft e.V., Köln)

Diebstahlschutz von Booten und Zubehör 99
 Torsten Rust (WüBa, Hamburg)

Kohlefasermasten119
 Torben Jacobsen, Nordic Mast, Aabenraa

**Die Wassersportkaskoversicherung in der Reform
 des Versicherungsvertragsgesetzes 163**
 Nils Bremke (GDV, Berlin)

Aktuelle Schäden und Rechtssprechung 181
 Christian von Schlippe (WÜBA, Hamburg)

Die Wettervorhersage - Verkehrsfunk für Freizeitkapitäne 189
 Dr. Meeno Schrader (Wetterwelt, Kiel)

Bootsidentifizierung..... 205
 Matthias Mink (Kompetenzzentrum Bootskriminalität der Polizei Konstanz)

MHD des Riggs - Motor und Seele von Yachten..... 223
 Stefan Zucker und Torsten Goericke (Zucker und Partner, Hamburg)

Wassersportkasko-Tagung 2007

Von Hightechmaterialien über Blitzschlag zur Bootsidentifizierung

Blitzschäden an Wassersportfahrzeugen

Referent:

Rainer Klotz (Sachverständigen Büro Rainer Klotz, München)

SV-Büro Rainer Klotz

- 1987 Gründung durch Herrn Rainer Klotz mit Sitz in München. Das Tätigkeitsfeld umfaßte zunächst Maschinenschäden.
- 1990 Einstieg in die Marinetechnik mit Erstellung der ersten Sportbootschadensgutachten, Eröffnung der Niederlassung Portoroz (SLO)
- 1992 Spezialisierung auf Elektronikschäden auf Yachten
- 1995 Erster eigener Maschinenprüfstand bis 500 kw in bzw. bei München
- 1998 Anschaffung einer Unterwasserkamera mit Roboter für Besichtigungen sowie Suchen in großen Tiefen (bis 150 m)
- 1999 Inbetriebnahme einer Wärmebildkamera in der Bootswerft der Marina Portoroz
- 2000 Erlangung des Repoweringengineer-Status der Fa. Yanmar Diesel Corporation
- 2006 Eröffnung der Niederlassung in Marmaris (TR)

Erreichbar sind unsere Büros 24 Stunden rund um die Uhr unter folgenden zentralen Nummern:

Telefon: +49 89 65 98 37
Fax: +49 89 651 87 56
Mobil: +49 172 890 18 07

Die Niederlassungen in Slowenien sowie in der Türkei werden über das Büro in München, in der Hans-Mielich-Str. 30 koordiniert.

Blitzeinschlag auf Yachten unter versicherungstechnischen Gesichtspunkten

Definition:

Der Blitzschlag ist ein Blitz zwischen Erde und Wolke. Der gewaltige „Kurzschluß“ entsteht, wenn der Spannungsunterschied zwischen der Gewitterwolke und der Erde über 100 Megavolt beträgt. Die meisten Blitzschläge beginnen am Erdboden und breiten sich dann nach oben hin aus. Wolke-Erde Blitze machen nur einen geringen Teil aller Blitze aus. Die meisten Blitze verlaufen zwischen den Wolken und stellen keine Gefahr dar. Blitzschläge können dagegen verheerende Schäden verursachen. Sie spalten Bäume und können Häuser in Brand setzen oder elektronische Geräte zerstören. Auch wenn der Blitz in einigen 10 Metern Entfernung einschlägt, kann er noch Lähmungen hervorrufen oder zum Tode führen.

Arten von Blitzschlägen

Wolke-Wolke Blitz

Die meisten Blitze verlaufen zwischen den Wolken und erreichen nicht den Boden. Von ihnen geht keine Gefahr aus. Es kann aber jederzeit zu einem gefährlichen Blitzschlag kommen.

Perlschnurblitz

Der Perlschnurblitz ist eine recht seltene Blitzart. Dabei löst sich der Blitz nicht gleichmäßig in voller Länge auf, sondern zerfällt in zahlreichen Perlen. Die Perlen können darauf noch Schweife ausbilden. Diese ganze Erscheinung dauert etwa 0,2 – 0,5 Sekunden. Über die Ursache ist nicht viel bekannt. Es wird ein Zusammenhang mit starkem Regen vermutet.

Kugelblitz

Es gibt wohl keine atmosphärische Erscheinung, über die sich so viele Legenden ranken und die so geheimnisvoll sind wie der Kugelblitz. Aber tausende von Augenzeugen können nicht lügen: Der Kugelblitz ist ein real existierendes Phänomen der Atmosphäre.

Dennoch wurde seine Existenz in der Vergangenheit immer wieder bezweifelt. Die Erscheinung wurde damit erklärt, daß man von einem Blitz stark geblendet werden kann

und dann einen hellen Lichtfleck als Nachleuchten wahrnimmt, der der Augenbewegung folgt. Mittlerweile gelang es aber japanischen Wissenschaftlern kugelblitzartige Plasmabälle künstlich im Labor zu erzeugen. Dadurch haben die Beobachtungsberichte an Glaubwürdigkeit gewonnen.

Die meisten Kugelblitze sind etwa 20 cm groß. Sie können in den unterschiedlichsten Farben leuchten. Es gibt Berichte über grüne, blaue, rote und gelbe Leuchtkugeln. Zumeist haben sie eine rötliche Farbe. Die Leuchtdauer ist ebenfalls sehr unterschiedlich. Häufig dauert die Erscheinung zwischen 2 und 8 Sekunden. In seltenen Fällen kann der Kugelblitz über 30 Sekunden bestehen bleiben. Oft löst sich die Kugel mit einem lauten Knall auf. Kugelblitzen wird auch die Fähigkeit zugeschrieben, Wände und Fenster unbeschadet zu durchdringen. Die Kugel kann in der Luft schweben oder über den Boden rollen. Meistens bewegt sie sich relativ langsam (2-3 m / s). Kugelblitze treten fast nur im Zusammenhang mit Gewittern auf. Es ist zweifellos eine sehr seltene Erscheinung. Dennoch bestehen gute Chancen, daß ein aufmerksamer Naturbeobachter einmal im Leben auf einen Kugelblitz trifft. Eine große Gefahr scheint von ihnen nicht auszugehen. In einem Fall wurde die Kugel mit der bloßen Hand beiseite geschoben, ohne daß es zu Verletzungen kam.

Flächenblitz

Bei dieser Blitzart verzweigt sich der Haupt-Blitzkanal in zahlreiche Äste.

Linienblitz

Beim Linienblitz treten keine Verästelungen auf. Er sucht sich nicht immer den direkten Weg zum Erdboden, sondern kann auch Knoten und kreisförmige Verschlingungen enthalten.

Plasmafäden

Plasmafäden können im Nahbereich eines Blitzschlages auftreten. Kurz vor dem eigentlichen Blitz ist die Spannung zwischen dem Erdboden und der Luft sehr groß. Meistens ist es so, daß sich zunächst ein unsichtbarer Blitzkanal bildet, der dann den Kurzschluß verursacht, wobei sich die Spannung durch den dann sichtbaren Blitz abbaut. Manchmal bilden sich aber kurz bevor die Entladung erfolgt mehrere fadenartige sichtbare Plasmastränge, die vom Erdboden nach oben streben und eine Länge von einigen cm bis hin zu mehreren Metern haben. Einer dieser Plasmafäden stellt dann den Kurzschluß her und es kommt zum Blitzschlag. Die anderen Plasmafäden verschwinden darauf sofort wieder, da sich die Spannung durch die Entladung abgebaut hat.

Elmsfeuer

Das Elmsfeuer ist eine Funkenentladung an hohen Gegenständen. Es tritt bei starken Spannungsdifferenzen zwischen dem Boden und der Luft auf. Das Elmsfeuer wurde unter anderem an Kirchturmspitzen, Schiffsmasten, Bergspitzen und Stacheldrahtzäunen beobachtet. Es tritt nur sehr selten auf. Wenn man ein Elmsfeuer in der Nähe sieht, besteht höchste Gefahr eines Blitzschlages. Die starke Spannungsdifferenz kann sich auch dadurch zeigen, daß einem die Haare zu Berge stehen. Auch wenn dies „lustig“ aussehen mag, hat man in diesem Fall den Ort sofort zu verlassen, da ein Blitzschlag unmittelbar bevor steht.

Sprites

Bei den „red Sprites“ handelt es sich um eine Leuchterscheinung, die oberhalb von Gewitterzellen auftritt und eine Höhe von 100 km erreichen kann. Es ist ein kurzes (ca. 5 ms) rötliches Aufleuchten und steht im Zusammenhang mit Blitzen unterhalb der Gewitterzelle. Das leuchtende Gebiet kann ein Volumen von 10.000 km³ haben.

Die „red Sprites“ wurden erstmalig am 21.10.1989 mit einer hochempfindlichen Videokamera des Space Shuttle aufgezeichnet. Es gab aber schon vorher Berichte von Piloten über eine seltsame Leuchterscheinung oberhalb von Gewitterzellen, die sich bis in die Ionosphäre erstreckt. Die Beobachtungen wurden damals aber nicht ernst genommen. Mittlerweile gibt es zahlreiche Forschungsprojekte, die sich mit Sprites beschäftigen.

Mit den „red Sprites“ verwandt sind die „blue Jets“. Diese blauen Lichtfontänen beginnen oberhalb der Gewitterzelle und breiten sich mit einer Geschwindigkeit von 100 m/s bis in eine Höhe von etwa 50 km aus.

Interessant ist, daß Sprites auch vom Boden aus beobachtet werden können. Die besten Bedingungen liegen vor, wenn sich ein Gewitter in etwa 200 km Entfernung befindet. Die Sprites haben dann eine Höhe von etwa 10° - 20° über dem Horizont. Voraussetzung ist, daß der Himmel klar und vollkommen dunkel ist. Mit etwas Glück und Geduld kann man dann für Sekundenbruchteile ein rötliches Aufleuchten wahrnehmen, das etwa die Helligkeit von Polarlichtern hat.

Entstehung von Blitzen

Gewitter entstehen bei uns vor allem im Sommer. Die starke Sonneneinstrahlung läßt viel Wasser verdunsten und erwärmt die Luft. Wenn dann eine Kaltfront aufzieht, schiebt sich kalte Luft unter die warme, so daß die feuchtwarme Luft in die Höhe steigt. Dabei kondensiert der Wasserdampf und es bilden sich Quellwolken, die schließlich zu einem Cumulonimbus (Cb) anwachsen können. Im Cb herrschen starke Aufwinde, die verhindern, daß kleinere Regentropfen aus der Wolke nach unten fallen.

Die Regentropfen und Eiskörnchen werden immer wieder nach oben getragen, wo sie gefrieren und sich neues Eis anlagert. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis die Eiskörner so schwer geworden sind, daß sie von den Aufwinden nicht mehr gehalten werden können. Dann fallen entweder sehr dicke kalte Regentropfen, Graupeln oder sogar Hagelkörner aus dem Cb. Durch die Aufwinde in der Wolke und die ungleiche Verteilung von Eis und Wasser entstehen Räume mit unterschiedlichen Ladungen. Der obere Teil des Cb ist normalerweise positiv geladen und der untere negativ. Wenn die Spannung zwischen den verschiedenen Ladungen sehr groß wird, kommt es zu einem Blitz. Entweder erfolgt ein Spannungsausgleich innerhalb der Wolke oder zwischen dem Erdboden und dem unteren Teil der Wolke. In seltenen Fällen kann es auch zu einem positiv geladenen Blitz zwischen dem oberen Teil des Cb und dem Erdboden kommen. Für Blitze zwischen Wolke und Erde muß der Spannungsunterschied mehr als 100 Millionen Volt betragen.

Um den Blitzkanal wird die Luft schlagartig auf ca. 40.000° C erhitzt. Dies führt zu einer sehr schnellen Ausdehnung der Luft, wodurch der Donner hervorgerufen wird. Da der Schall im Gegensatz zum Licht nur eine Geschwindigkeit von 330 Metern pro Sekunde hat, kann man aus der Zeit zwischen dem Blitz und dem Donner die Entfernung des Blitzes berechnen (3 Sekunden entsprechen etwa einem Kilometer).

Vorkommen sowie Häufigkeit

Grundsätzlich kann festgestellt werden, daß auf unserer Weltkugel rund 2.000 Blitzeinschläge pro Stunde registriert werden. Diese Blitzeinschläge finden mit wenigen Ausnahmen praktisch auf allen Kontinenten statt. In Mitteleuropa stellt Österreich, insbesondere das Land Tirol, eine Oase des Blitzschutzes dar. Dort finden pro Jahr die wenigsten Blitzeinschläge in Mitteleuropa statt. Die Schweiz ist als ebenso sicheres Land zu bezeichnen. Dort finden ebenfalls nur wenige Blitzeinschläge statt (Quelle: BLIDS der Fa. Siemens). Die meisten Blitzeinschläge finden in und um den Äquator

statt, als prädistinierte Gegenden sind die Straße von Singapur und Malaka sowie die Karibik zu bezeichnen. Dort finden, gegenüber dem mitteleuropäischen Zahlen, nach BLIDS der Faktor 100 bis 1.000 an Blitzeinschlägen statt (jahreszeitbedingt). Diese Gegenden sind daher versicherungsrechtlich gesehen sehr schadenshäufig. Praktisch jedes 2. Schiff, das die Straße von Malaka passiert, muß mit einem Blitzeinschlag rechnen. Als weitere, schadenshäufige Gebiete im Bereich des Mittelmeeres sind die afrikanische Küste, Algerien, Marokko sowie Tunesien zu nennen. In der Adria ist der Bereich um Montenegro, aber auch Albanien sowie die Baleareninseln besonders häufig blitzbeaufschlagt.

Blitz ist nicht gleich Blitz

Wie eingangs erwähnt, gibt es viele verschiedene Arten von Blitzen, von denen nur 3 % - 7 % für den Schiffsverkehr auf den Seen sowie den Weltmeeren Bedeutung haben. So stellen beispielsweise Wolke-Wolke Blitze keine Gefahr für die Schifffahrt dar. Lediglich die Wolke-Boden Blitze oder die Boden-Wolke Blitze stellen eine ernstzunehmende Gefahr für die Schifffahrt dar. Ein Wolke-Boden Blitz oder ein Boden-Wolke Blitz lässt sich bis heute nicht nachhaltig umleiten oder das Einschlagszentrum definieren. Der einzige Schutz für menschliches Leben stellt nachwievor ein pharadeischer Käfig dar. Die Person, die sich im pharadeischen Käfig befindet darf während des Blitzeinschlages kein Metallteil des Käfigs berühren. Nur dann kann sichergestellt werden, daß die Person im Käfig den Blitzschlag unbeschädigt überleben wird. Dies bedeutet für die technische Anwendung, daß eine Yacht, ähnlich wie ein Kfz, als pharadeischer Käfig beschaffen sein sollte.

Stahlschiffe

Stahlyachten stellen aufgrund ihrer Konstruktion bereits einen kompletten pharadeischen Käfig dar und sichern die Crew, soweit sie sich im Käfig beim Blitzeinschlag befinden (unter Deck), nicht nur gegen die hohe Spannungs- sowie Strombelastung, sondern auch gegen die Umgebungsionisation sowie gegen das bei der Strom- / Spannungsableitung entstehende Magnetfeld. Es kann also daraus geschlossen werden, daß Stahlyachten, auch Yachten deren Rumpf aus Stahl, egal welcher Art und das Deck z. B. aus Aluminium und Buntmetall besteht, vollwertigen Schutz bieten. Bei Direkteinschlägen auf Yachten mit Deckskonstruktion aus Aluminium besteht zwar die Möglichkeit, daß durch die hohe Hitze, die entsteht, ein Loch mehr oder weniger eingeschmolzen wird. Dieses beschränkt sich jedoch maximal auf die

zentrale Einschlagstelle im Deck. Bei Splitterblitzen, die vom Mast beispielsweise auf das Deckshaus oder den Ruderstand überspringen, ist in aller Regel die Intensität bereits so gering, daß dort nur Schmor- sowie Schmauchspuren und kein Durchschlag mehr entsteht (gering bedeutet: Spannungen über 50.000 Volt bei Extensionsblitzen und / oder Strombelastungen über 20.000 Ampere pro ms).

Holzschiffe

Bei Holzyachten ergibt sich allerhöchstens durch den meist einhergehenden Starkregen und aufgrund der Leitfähigkeit des Wassers ein pharadeischer Käfig. Ist das Holz jedoch unbeschichtet und vollgesogen mit Schlagwasser besteht akute Gefahr für Leib und Leben der Besatzung auch unter Deck. Zum einen durch den unkontrollierten Stromfluß durch das Schiff in Richtung Wasser, zum anderen durch die schlagartige Erwärmung mit Verdampfen des Wassers im Holz, was zu detonationsartigen Schäden in Teilbereichen oder in der ganzen Yacht führen kann (je nach Intensität des Blitzes).

Kunststoffschiffe

Kunststoffyachten oder auch Ferozementyachten haben grundsätzlich identische Probleme bei Blitzeinschlägen wie Holzyachten. Ein Blitzeinschlag auf einer Kunststoffyacht unterscheidet sich von dem einer Holzyacht prinzipiell nur dadurch, daß in der Regel Glasfaser in das Laminat eingebracht wird. Diese Glasfasern sind sehr temperaturstabil und besitzen eine hohe Wärmeleitfähigkeit. In den seltensten Fällen detonieren hier einzelne Bauteile der Yacht wie Rumpfwände, Stringer oder Teile der Deckskonstruktion infolge der schlagartigen Wärmeausdehnung. Vielmehr kommt es hier zu Brandspuren, auch Durchbrandspuren im Laminat. Tritt ein Blitz unter Wasser aus, so konnten hier schon bis zu 50 cm² große Löcher im Rumpflaminat festgestellt werden. Hier besteht die Gefahr des akuten Sinkens der Yacht.

Sonderformen bei Kunststoffyachten

Bei modernen Fahrtenseglern wie auch bei den meisten Cruiserracern werden sehr häufig neuartige Laminatfüllmaterialien, wie Carbonfasern, Keflar oder ähnliche Fasern eingesetzt um eine Gewichtsreduzierung zu erzielen und um die Performance der Yacht zu steigern. Eigene Untersuchungen haben in den Jahren 2004 sowie 2005

ergeben, daß die Carbonfaser ein sogenannter Heißleiter ist. Dies bedeutet, daß bei zunehmender Umgebungstemperatur und Strombeaufschlagung der elektrische Widerstand infolge Erwärmung der Carbonfaser abnimmt. Der Widerstand erreicht bei 88,5° C einer 1 m langen Carbonfaser Innenwiderstandswerte um 1 Ohm. Mit zunehmender Temperatur nimmt der Widerstand noch weiter ab. Dies bedeutet, ist eine Yacht zur Verstärkung im Außenlaminat des Rumpfes und des Deckes mit Carbonfasergewebe (auch Roving und Gelege) ausgerüstet, so ergibt sich bei Primärauslösung auch bei Sekundäreinschlag eines Blitzes während der Stromableitung an der Oberfläche der Yacht mit zunehmender Erwärmung ein niedriger Innenwiderstand des Laminates, der zum Entstehen eines gegengepolten Magnetfeldes um die Yacht führt. Dies stellt zum Zeitpunkt der Ableitung der Spannung sowie des Stromes einen pharadeischen Käfig dar. Je nach Intensität des Blitzes wird jedoch die Carbonfaser während des Ableitvorganges derart stark erhitzt, daß sie im Laminat zu Kohlenstaub zerfällt. Dies bedeutet, daß es sich hierbei um den einmaligen Sicherungsnebeneffekt einer aus Carbonfaser gebauten Yacht handelt. Zur Sanierung eines derartigen Schiffsrumpfes sowie -deckes müßte das Gelcoat sowie die erste Schicht des Carbonfaserlaminates abgenommen und durch ein neues Carbonfaserlaminat ersetzt werden. Dies stellt eine praktikable Instandsetzungsform für eine blitzschlaggeschädigte Yacht höchstwertiger Güte dar. Mit Hilfe einer Wärmebildkamera und durch das Tempern des Rumpfes läßt sich das genaue Schadensausmaß, also der exakte Stromfluß nachvollziehen und eingrenzen. Nach einer Wärmebilddiagnose des gesamten Schiffes kann der exakte Reparaturumfang bestimmt werden. Die Sanierung eines 14-Meter-Schiffes nach einem derartigen System wird bei gänzlicher Zerstörung der Carbonfasern rund € 50.000,00 - € 70.000,00 in Anspruch nehmen. Für Großserienyachten macht eine derartige Instandsetzung aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten keinen Sinn mehr.

Meine bisherigen Ausführungen gingen davon aus, daß eine Yacht nur in flottem Wasser von einem Blitz getroffen wird. Dies ist nicht richtig. Die häufigsten Blitzeinschläge auf Yachten finden nicht im Wasser, sondern an Land statt. Dies begründet sich zum einen, daß im Herbst sehr viele Yachten aus dem Wasser gekrant und fürs Winterlager an Land vorbereitet werden. Dies ist exakt die Zeit, in der die Herbststürme am heftigsten wüten und dadurch auch viele Gewitter entstehen. Gleichermaßen verhält es sich im Frühjahr mit zunehmender Erwärmung zwischen Ostern und Pfingsten. In diesem Zeitraum befinden sich noch sehr viele Yachten an Land. Auch hier entstehen sehr häufig Frühjahrgewitter mit teils sehr heftigen Entladungen an den Küstenregionen.

Yachten, die an Land stehen, werden sehr häufig mit Metallgestellen auf den Abstellflächen der Marinas gelagert. Die meisten Segelyachten legen das Rigg nicht, sondern stehen aufgeriggt in vorbezeichneten Craddels. Schlägt ein Blitz in eine aufgeriggt an Land stehende Yacht ein, so führt dies sehr häufig zu katastrophalen Schäden, die gelegentlich Handgranatenzündungen im Inneren der Yacht gleichkommen.

Nun endlich kommt der Platz sowie die Zeit für Fragen durch die Kongressteilnehmer sowie für eine Einzelfallbesprechung mit Darstellung einzelner Schadensszenarien und Umfänge.

- Vermeidbarkeit von Blitzschlägen
- Überspannungsauswirkungen auf Yachten generell
- Schadensumfänge bei elektronischen Geräten (Navigationsgeräten)
- Schadensfeststellung an diesen
- Auswirkungen auf den Masseschluß
- Auswirkungen von magnetischen Feldern durch Blitzschlag auf Radaranlagen
- Reparaturmöglichkeiten von elektronischen Geräten
- Schadensausmaß und Erkennbarkeit verdeckter Schäden
- Vorgetäuschte Blitzschlagschäden und deren Erkennbarkeit
- Der Halbleiter und sein Memoryeffekt (Die Geschichte des Siliciums)

Sachverständigen -
Büro Rainer Klotz
GA-Nr.: 3KA104914
vom 23.02.2004

Sachverständigen-Büro
Rainer Klotz
Hans-Mielich-Str. 30
D 81543 München
Telefon: 089/659837
Fax: 089/6518756

physikalische Grundgedanken

Gemäß vorgelegter Kaufrechnung und meinem Besichtigungsergebnis kann festgestellt werden, daß die Yacht im Komposit- / Vakuumverfahren gebaut wurde. Es wurden im Schnitt, von innen nach außen gesehen, ca. 5 Glasfaser verstärkte Mattengewebe in einem Epoxyharzbett erzeugt. Weiters wurden 2 Lagen High-Tech Carbonfasergewebe mit ca. 240 g/m² in einem Harzbett aufgetragen. Als äußerste Schicht oder auch Sperrschicht genannt, wurde Gelcoat mehrfarbig in die Form gespritzt. Der Produktionsablauf geschieht natürlich in umgekehrter Reihenfolge wie von mir eben geschildert.

Es kann also aus der Rumpf- und Deckskonstruktion direkt abgeleitet werden, daß die Glasfaserlagen elektrisch so gut wie nicht leitend sind (Innenwiderstand größer 200 M Ohm, abhängig von der Umgebungsionisation). Die Carbonfasern sind jedoch ein guter elektrischer Leiter, der Innenwiderstand liegt im rohen Zustand bei ca. 2,9 Ohm/m² (siehe Lichtbilder in der Anlage). Die von mir durchgeführten Widerstandsmessungen haben keine Allgemeingültigkeit und stellen keine Referenz dar. Sie können jedoch als Näherungswerte für das physikalische Verständnis des Vorgangs herangezogen werden. Aus den von mir durchgeführten Messungen kann direkt geschlossen werden, daß der Innenwiderstand eines Carbonfasergewebes bei gleichbleibender Länge und zunehmender Breite geringer wird. Das heißt, nimmt man nun ein Carbonfasergewebe bei einer Länge von ca. 1m und einer Breite von ca. 1 m, so ergab eine Messung einen Widerstand von 2,9 Ohm (Seite zu Seite), schneidet man nun einen ca. 0,05 m breiten Streifen ab (bei gleicher Länge), so ergibt sich ein Innenwiderstand von ca. 16,03 Ohm.

Der elektrische Widerstand eines Carbonfasergewebes mit ca. 240 g/m² nimmt proportional zur Fläche ab.

Unterstellt man nun beim Bau eines derartigen Schiffsrumpfes eine gute elektrische Verbindung der Carbonfasern der einzelnen Bahn zu der benachbarten, so ergibt sich natürlich in Abhängigkeit der Umgebungsionisation in gewisserweise ein Faradayscher Käfig.

Aufgrund der geringen Stärke der einzelnen verwobenen Carbonfasern (Durchmesser) ergibt sich, eine relativ geringe Strombelastbarkeit gegenüber klassischen elektrischen Leitern.

Sachverständigen -
 Büro Rainer Klotz
 GA-Nr.: 3KA104914
 vom 23.02.2004

Sachverständigen-Büro
 Rainer Klotz
 Hans-Mielich-Str. 30
 D 81543 München
 Telefon: 089/659837
 Fax: 089/6518756

Im weiteren Verlauf meiner Untersuchungen habe ich die elektrische Belastbarkeit der Carbonfaser untersucht. Es wurde von mir ein Versuchsaufbau mit einer pulsierenden Feststromversorgung mit 1 A, 2 A sowie 4 A verwendet. Die Anbindung der Carbonfasern erfolgte über Konstantanprüfspitzen eines hochwertigen Universalmeßgerätes, der Innenwiderstand des Meßgerätes ist größer 50 M Ohm. Es wurden von mir verschiedene Längen von Carbonfasern zwischen die Prüfspitzen gespannt und vor Strombeaufschlagung der Widerstand gemessen, hierzu wurden mehrere Versuche unternommen.

Bei einer Länge von ca. 3 cm der eingespannten Carbonfaser ergab sich ein Widerstand von ca. 7,3 Ohm. Bei der anschließenden Beaufschlagung mit verschiedenen Strömen, war festzustellen, daß bei Beaufschlagung von 1 Ampere die Carbonfaser erwärmt wurde, jedoch nicht verbrannte. Im weiteren Verlauf beaufschlagte ich die Carbonfaser mit 2 Ampere, jetzt konnten bereits erste Lichtemissionen (Glühen) festgestellt werden. Dies bedeutet, daß bei einer Strombeaufschlagung von 2 Ampere bereits eine geringfügige Überbelastung der Carbonfaser stattfindet (die Überbelastung ist natürlich abhängig von der Zeitkomponente). Im dritten Versuch wurde eine Stromstärke von 4 Ampere durch die Carbonfaser geleitet, jetzt beginnt die Carbonfaser sofort zu glühen. Aufgrund der emittierten Lichtfarbe (im Kern weiß) kann grob auf die entstehende Temperatur geschlossen werden. Diese liegt deutlich über 980 °C (Kerzenlicht). Im Verlauf des dritten Versuches konnte festgestellt werden, daß die einzelnen Fasern der Reihe nach durchbrennen / abreißen und sich gemäß des entstehenden Magnetfeldes um den Minuspol ausrichten (ausfransen). Läßt man den Strom nun weiter fließen, führt das in relativ kurzer Zeit zum abreißen / abbrennen der Carbonfasern. Kurz vor dem endgültigen Abreißen der Fasern liegt der Widerstand bereits weit über 2.000 % höher.

Aus den Meßergebnissen des Unterzeichners, unter Zugrundelegung des Blitzschlaggutachtens der Fa. Meteo France, kann die Spannung des Blitzeinschlages zurückgerechnet werden. Diese Berechnung ist jedoch wiederum nur als Näherungswert anzusehen, da der Übergangswiderstand zwischen Schiffsrumpf und Boden unberücksichtigt bleibt.

Zur Anwendung kommt das Ohmsche Gesetz Nr. 1 $U / I = R$

$I \times R = U$ 83.900 A x 16,3 Ohm = 1.367.570 Volt

**mindest geflossene Spannung im Bereich Schiffsrumpf und Deck,
 ohne Berücksichtigung der Takelage und Übergangswiderstand
 Luft.**

Sachverständigen -
Büro Rainer Klotz
GA-Nr.: 3KA104914
vom 23.02.2004

Sachverständigen-Büro
Rainer Klotz
Hans-Melich-Str. 30
D 81543 München
Telefon: 089/659837
Fax: 089/6518756

Bringt man diese Untersuchungsergebnisse bei dem hier gegenständlichen Blitzeinschlag zur Anwendung, so ergibt sich ein Stromflußdiagramm, daß sich schrittweise über einen großen Teil des Deckes und des Rumpfes (hier vermehrt achtern) erstreckt. Die Einleitung des Stromes (Blitzes) erfolgte definitiv am Masttop und wurde über den Aluminiummast der Stagen und Wanten auf das Deck und zum Kielschwein geleitet. Das Erdungskabel zwischen Mastfuß und Kielverschraubung ist abgebrannt und aus den Kabelschuhen gerissen. Es kann also davon ausgegangen werden, daß die elektrische Verbindung zwischen Mast und Kiel nur einen geringen Teil der Blitzenergie weiterleiten konnte (bis zum Abbrennen). Die restliche Energie (Hauptanteil) mußte dann über die Püttingeisen und Verankerung der Takelage am Deck in den Schiffsrumpf eingeleitet werden. Aufgrund der vorausgehenden Untersuchungen zur elektrischen Leitfähigkeit des verwendeten Baumaterials (Carbonfaser) wurde der Strom dann, wie bereits erwähnt, durch das Carbonfaserlaminat des Rumpfes und Deckes zu den Austrittsspuren geleitet. Dieser hohen elektrischen Belastung ist, wie vorstehend beschrieben, die Carbonfaser nicht gewachsen, sodaß die Fasern des Rumpf- und Decklaminates größtenteils verbrannten.

Ich gehe sachverständigenseits davon aus, daß deutlich über 50 % des verwendeten Carbonfasergewebes verbrannt ist.

Gewißheit über den tatsächlichen Verbrennungsgrad des verwendeten Carbonfasergewebes kann nur durch Abfräsen des gesamten Rumpfes und der Decksaufbauten erfolgen (Besonderheit der Deckskonstruktion: das Deck ist fast ausschließlich aus mehreren Carbonfasergewebelagen gefertigt, nur an den Verbindungsstellen und an untergeordneten Positionen wurde Glasfasergewebe mit eingefügt).



CERTIFICAT D'EXPERTISE Foudre

Le chef du Centre Départemental de Météo- France soussigné certifie que l'expertise foudre suivante a été réalisée, dans un rayon de 20 km de l'hôtel de ville de la commune de référence.

Références de la requête :

Cliant : NOUVEAU PORT DE SAINT JEAN CAP FERRAT

Date : 29 DECEMBRE 2003

Commune : SAINT JEAN CAP FERRAT - 06

Base de données foudre – telle que disponible le 06/01/2004

La liste des impacts, leur localisation et l'heure de survenance sont indiquées ci-joint.

Remarques :

Ces renseignements, fournis à partir du système Météorage correspondent au service technique actuellement disponible, et appellent quelques précautions d'usage.

Compte tenu de la précision du système de détection utilisé et de la localisation approximative du sinistre, la recherche d'impacts au sol est étendue à un rayon de 20 km autour de la commune désignée.

Légende

Date d'expertise : de 0h UTC à 24 h UTC

Heure : indiquée en UTC (ajouter +1 pour l'heure locale d'hiver)
(ajouter +2 pour l'heure locale d'été)

I : intensité du courant de décharge en kA (1 kA = 1000A)

P : polarité de décharge (+ ou -)

D : distance en kilomètres entre le point d'impact et la commune de référence (mesurée à partir de l'hôtel de ville de la commune ou du parvis de Notre-Dame pour Paris)

Dir : direction du point d'impact par rapport au Nord géographique (en degrés, sens horaire)

Prix au 1^{er} janvier 2004 :

104,00 Euro H.T.
+ 20,38 T.V.A. 19,6%

124,38 Euro.TTC

Certifié par le DDM de Nice
Date 06/01/04

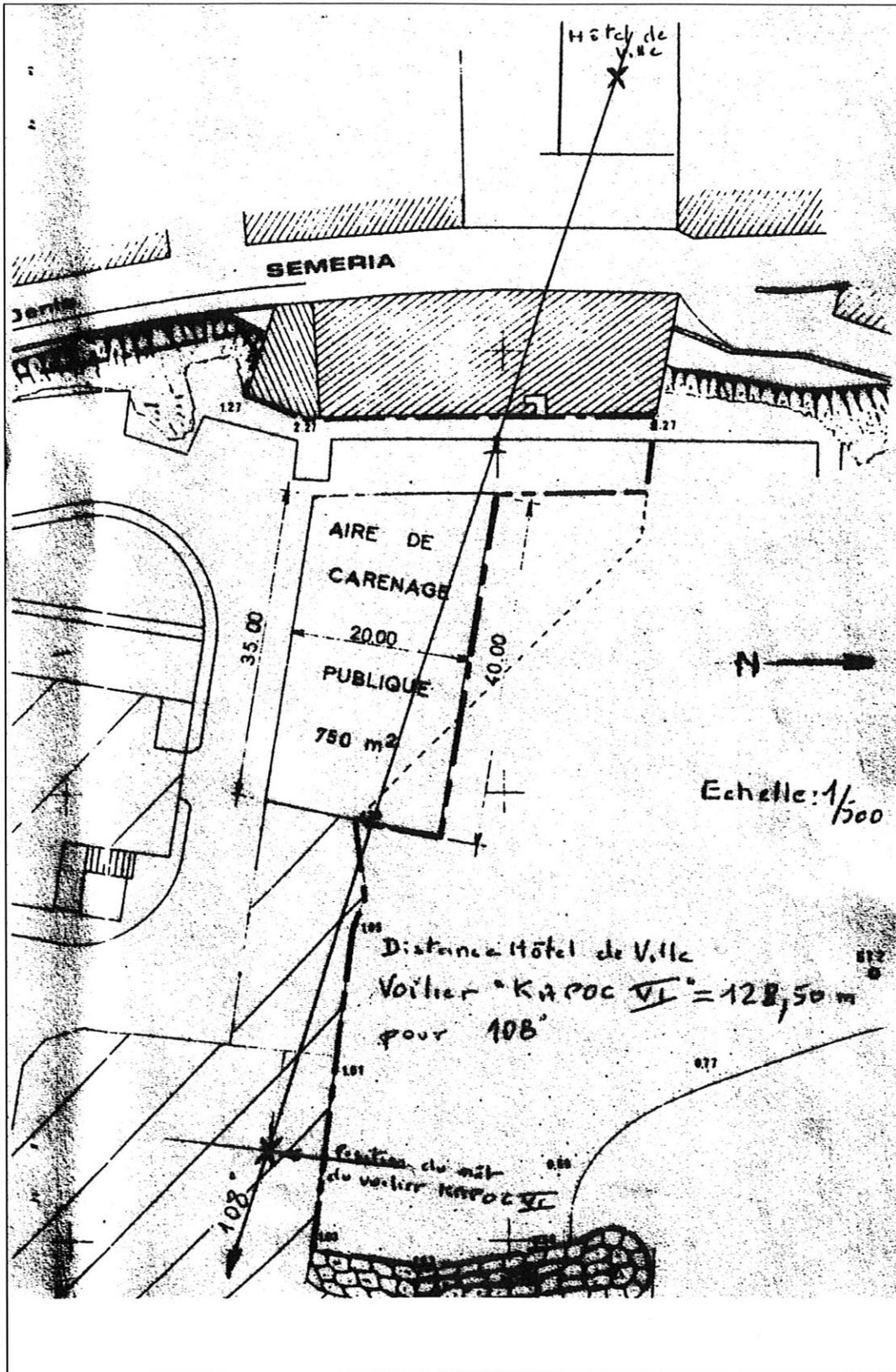
Signature Gérard AMIEL

Météorage

Afficher la cartographie

Date de réalisation : 06/01/2004
Référence : 12-864J
Période d'étude : 28/12/2003 00:00:00 au 29/12/2003 00:00:00 (GMT)
Distance de l'étude : 20 km
Site : SAINT JEAN CAP FERRAT
Position : latitude = 43.6175 longitude = 7.33434
Entité réalisée : Premier arc

num. imp.	date jj/mm/aaaa	heure hh:mm:ss	intens. KA.	nb	dist. km.	dir deg
1	28/12/2003	06:39:57	-25,8	4	13,9	189
2	28/12/2003	07:02:16	-33,9	2	1,3	163
3	28/12/2003	09:02:17	-39,6	2	16,6	74
4	28/12/2003	09:03:59	-10,2	2	19,4	70
Total : 4 impacts						





POLARITE

Il existe deux types d'impacts de foudre :

- les impacts positifs, qui neutralisent les charges électriques positives dans le nuage, représentent globalement moins de 10% des impacts recensés. Mais leur proportion varie beaucoup suivant la saison et les régions. En général, leur intensité moyenne est plus élevée (autour de 45 kilo-ampères) que celles des impacts négatifs.
- les impacts négatifs neutralisent des charges électriques négatives dans le nuage. leur intensité moyenne est d'une vingtaine de kilo-ampères.

AMPLITUDE

Elle correspond à l'intensité de crête du premier arc en retour (première décharge) et est exprimée en kilo-ampère.

NOMBRE D'ARCS EN RETOUR

Il correspond au nombre de décharges générées par un même impact de foudre nuage-sol.

COMMENT LIRE CETTE EXPERIENCE Foudre ?

Tout d'abord, apprécier la quantité d'impacts localisés. Plus le nombre est important, plus grande est la présomption d'un sinistre dû à la foudre.

Relever la tranche horaire pendant laquelle se sont produits les impacts.

Apprécier ensuite la localisation géographique des impacts. Si le réseau a enregistré des impacts tout autour du sinistre, la possibilité d'avoir eu un coup de foudre responsable directement ou indirectement (par tension ou induction) de ce sinistre est élevée.

La polarité (positive ou négative) est un indicateur de la caractéristique du foudroiement. La présence d'impacts positifs renforce la probabilité de dégâts dus à la foudre. Ces impacts ont des amplitudes de courant très intenses et sont souvent à l'origine des incendies et des dégâts sur le matériel électrique.

Plus les intensités de courant sont élevées, plus les perturbations sur l'environnement sont grandes.

Le nombre d'arcs en retour est le nombre de coups de foudre successifs pour le même éclair. Plus le nombre d'arcs en retour est grand, plus les risques de perturbation sur l'environnement sont grands.



DOCUMENT METEORAGE SUR L'INTERPRETATION DES RESULTATS DE L'EXPERTISE Foudre

Cette **EXPERTISE Foudre** a été réalisée à partir des données enregistrées par le réseau national de détection de la foudre appartenant à Météo-France et exploité par la Société Météorage.

Le principe de localisation des impacts de la foudre est basé sur la mesure des directions angulaires et des temps d'arrivées des rayonnements électromagnétiques produits par les arcs en retour. Les méthodes de triangulation et de différence de temps d'arrivée sont ensuite utilisées pour localiser les impacts à partir des mesures.

Les performances standard du réseau sont évaluées à :

- ⊙ l'efficacité de détection supérieure à 90% (rapport du nombre d'impacts au sol détectés par le réseau sur le nombre total d'impacts réels).
- ⊙ la médiane sur la métropole de la précision de localisation meilleure que 1 km.

Une efficacité de détection supérieure à 90% ne veut pas dire que le réseau voit seulement 9 orages sur 10, mais que, si un orage est composé de 1000 éclairs, le système en détectera au moins 900. La médiane de la précision de localisation indique que 50% des éclairs sur la métropole ont une précision meilleure que 1 km.

Evolution des termes utilisés

ZONE D'EXPERTISE

L'expertise est réalisée dans un cercle de rayon 20 km autour du point de référence, soit l'hôtel de ville de la commune.

HEURE

L'heure indiquée sur l'expertise est donnée en temps réel universel (UTC). Pour obtenir l'heure locale, rajouter une heure pendant la période d'application de l'heure d'hiver et deux heures pendant la période d'application de l'heure d'été.

LOCALISATION

La distance indiquée en km correspond à la distance qui sépare le centre de la commune (l'hôtel de ville) de l'impact de la foudre. L'orientation en degrés, l'azimut, correspond à l'angle formé par le Nord géographique et la direction de l'impact, par rapport au centre de l'expertise (l'hôtel de ville de la commune).

