

EMV Schutzmassnahmen in einer modernen Flugzeigtür

Dipl.-Ing. (FH) Uwe Renner, Airbus Helicopters, ETVED

1 Die „Elektrik“ in einer Passagiertür

Der Hauptanteil der eingebrachten elektromagnetischen Energie stammt aus Blitzeinschlägen. Diese Effekte stehen hier im Fokus.

In der in den Bildern 1-3 gezeigten A380 Passagiertüre. Zum Door-and-Slide-Management-System in einer solchen Türe (gesamt 16 Passagiertüren) gehören 2 Elektromotoren, 1 Controller mit integriertem Akku, 1 Ventilator, 2 Warnlampen, 2 Bedienknöpfe (Open/Close), 10 Näherungsschalter, 1 mech. Schalter, 1 Steckdose für die elektrische Notrutsche, 8 Kabelbündel.

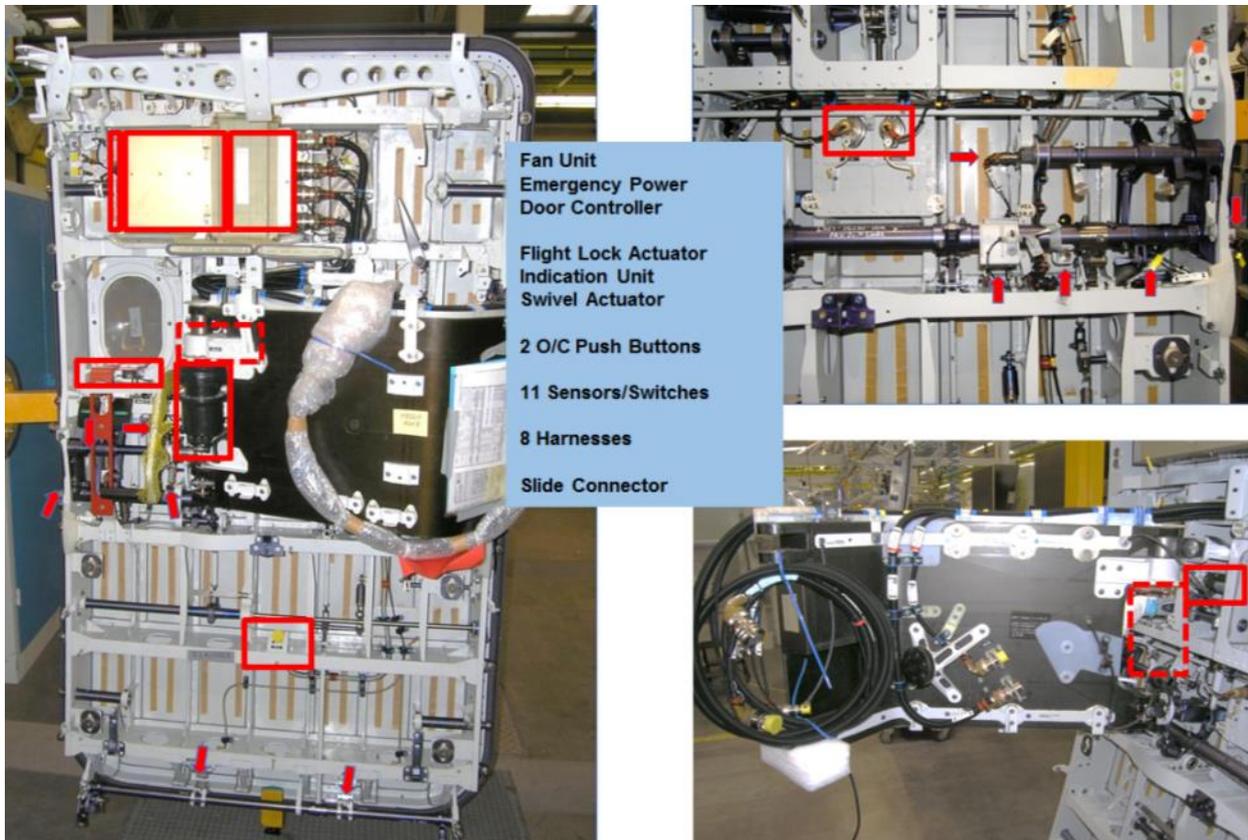


Bild 1: A380 Main Deck PAX

Bild 2: Bereich hinter dem Tragarm

Bild 3: Tragarmrückseite

Die Metalltürstruktur bietet eine gute Schirmwirkung gegen Einflüsse von außen. Jedoch kann die Tür auch längere Zeit geöffnet bleiben, auch während Gewittern. Beeinflussungen von kabinenseitigen „Sendern“ können durch Analysen und Tests im Zuge der Gerätequalifikationen aussortiert werden. Gegen elektromagnetische Effekte die von elektronischen Geräten der Passagiere ausgehen sind die Flugzeugsysteme und –geräte mittlerweile gut geschützt. Empfindliche Signale des DSMS werden durch Einzelschirme an den Leitungen geschützt. Die empfindlichsten und kritischsten Signale in der gezeigten A380 Türe sind die Triggerleitungen der Notrutsche. In einer

Flugzeugtüre sind 28VDC üblich, als M-Route kategorisiert (Miscellaneous). Aktuatoren erfordern ggfs. auch mehr Leistung durch 115VAC bei max. 15A. Lastspitzen bis 25A sind möglich.

In einer Kohlefasertüre wie sie im Muster A350 zum Einsatz kommt, fällt der strukturelle Schutz durch die Außenhaut so gut wie weg. Diese Passagiertüre enthält nur eine elektrische Basisausrüstung, also ohne elektrische Antriebe, ohne elektrische Notrutschzündung. Die elektrischen Werte sind in dieser Türe auf 28VDC und ca. 3,5A begrenzt. Die Türübersicht ist in den Bildern 4-6 zu sehen.

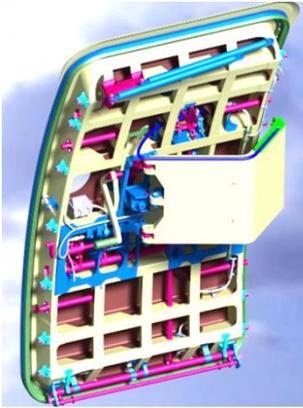


Bild 4: A350 PAX

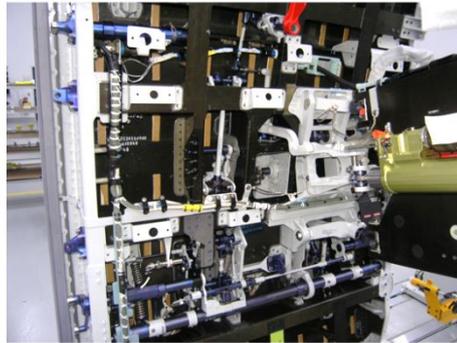


Bild 5: Türmittenbereich

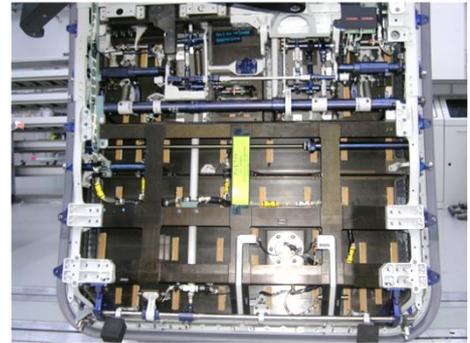


Bild 6: unterer Türbereich

Trotz niedrigerer Konzentration und Sensibilität der in der Türe vorhandenen Circuits, müssen die die Signale, die elektrischen Bauteile sowie die Karbonstruktur geschützt werden. Der Standard EMI Schutz der Leitungen ist ein Metallgeflecht welches der EN4674 entspricht und die Leitungsbündel kpl. umhüllt. Die Struktur wird durch eine Kupferfolie geschützt (Expanded Copper Foil) die in die Außenhaut einlamiert ist. In Bereichen in denen die Bündel bei jeder Türöffnung hin- und her gebogen werden, kann der äußere Schutz nicht verwendet werden. Hier werden Einzelschirme benutzt.

Die elektrischen Funktionen: Failure Current Return, Lightning Direct Path, electrostatic Discharge, lightning induced signals werden über ein Netzwerk leitender verbundener Tür-Metallteile "eingesammelt" und über einen niedrigohmigen Pfad an ein Electrical Structure Network übergeben. Die Energien kommen z. T. direkt über die Aussenhaut (Copper Foil) und das Tür-MBN (Metallic Bonding Network) in das ESN, z.T. durch die elektromagnetischen Effekte als induzierte Signale/Energie über die Bündelschirme und via MBN schliesslich an das ESN. Die Verteilung des ESN und MBN (A/C Level) ist in Bild 7 dargestellt.

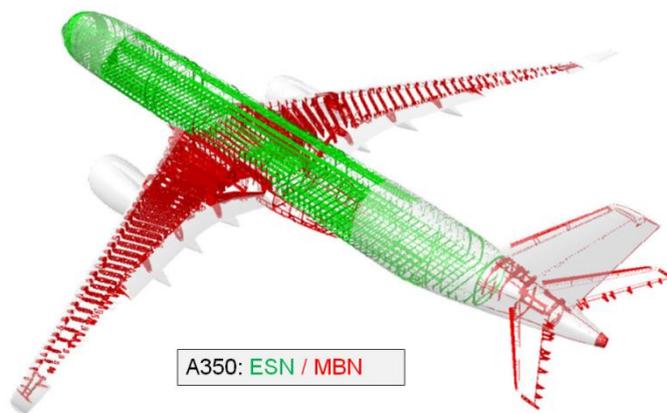


Bild 7: Aircraft Bonding Networks

ESN/MBN: Netzwerk aus Metallteilen der Primär- und Sekundärstruktur die elektrisch leitfähig (niederohmig) verbunden sind, oder durch spezielle Verbinder erst vernetzt werden.

Funktion ESN/MBN:

Failure current return, lightning path, electrostatic discharge, discharge of induced signals;

Signal and power return: nur im ESN

Für die Planung und Ausführung der ESN/MBN Systeme gelten strenge Vorschriften um die beabsichtigte Funktion und Lufttuchtigkeit über die Lebensdauer des Flugzeuges (~30 Jahre), wartungsfrei, sicherzustellen.

2 EMV Schutzmassnahmen der Flugzeugtüre

2.1 Tür MBN

In Bild 8 sind die blau eingefärbten Teile des Metallic-Bonding-Networks der A350 Passagiertüre zu sehen. Zwischen Tür und Tragarm, sowie zwischen Tragarm und Flugzeugrumpf ist eine redundante Verbindung durch jeweils zwei Bondingkabel vorhanden. Bis auf zwei Blechbiegeteile sind die MBN-Element Einzelteile die andere Primärfunktionen erfüllen und ohnehin aus Metall gefertigt worden wären. Die Bondingkabel müssen, wie die dynamischen Leitungsbündel, 216.000 Testbiegezyklen aushalten (28800 Flüge x 3 Türzyklen x 2,5 Laborfaktor).

Bild 9 zeigt die fertigungstechnisch sehr aufwändigen Verbindungsstellen. Diese Stellen müssen allseitig versiegelt und mit einem blauen Markierungslack versehen werden. Alle Spalte die zwischen Bauteilen entstehen, müssen gegen Wassereintritt abgedichtet werden, um Schäden durch Vereisung vorzubeugen. Die Blechbiegeteile sind aus Gewichtsgründen aus einer Aluminiumlegierung hergestellt, die hinsichtlich spez. elektrischem Widerstand optimiert ist. (Materialeinsatz ca. 30% reduziert)

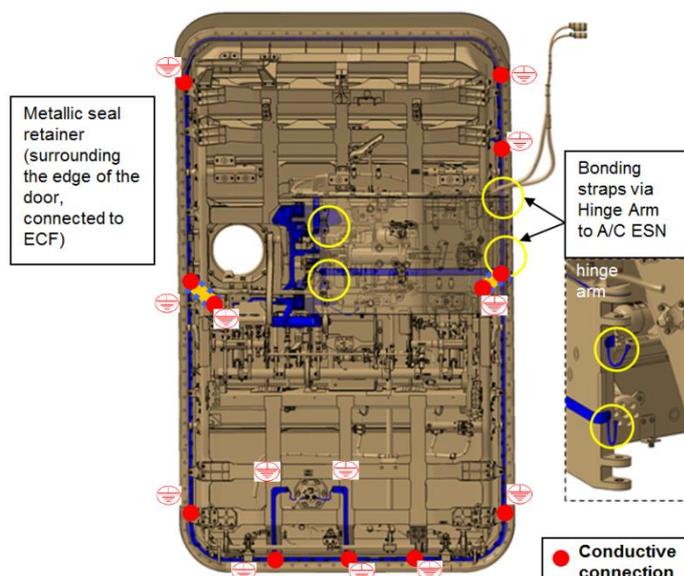


Bild 8: Metallic Bonding Network

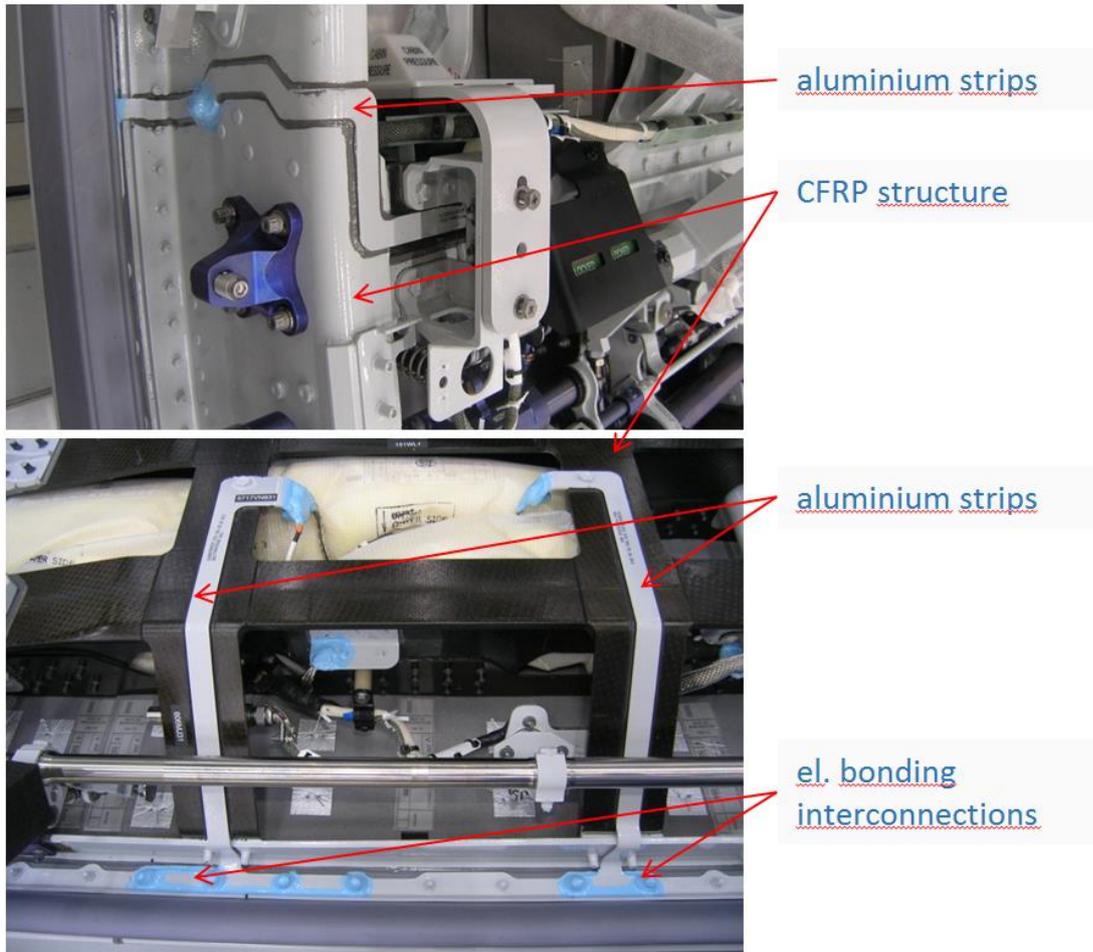


Bild 9: Metallic Bonding Network – Details

2.2 „Expanded Copper Foil“ auf der Außenhaut

Um den Verlust der gut schirmenden Metallaußenhaut ansatzweise auszugleichen, behilft man sich mit einem Kupferstreckgitter (Bild 11) welches die Kohlefaseraußenhaut des Flugzeuges komplett bedeckt. Über die großen Rumpfflächen wird das ECF über Zufallskontakte mit der Struktur bzw. den Schutznetzwerken (ESN/MBN) leitend verbunden. Die Hauptfunktion, schnelle Energieverteilung bei Blitztreffern und Dämpfung der elektromagnetischen Felder, werden so zufriedenstellend erfüllt.

Anspruchsvoller wird es in Bereichen, in denen die Kupferfolie durchlöchert werden muss. Hier ein Beispiel des Evacuation Lights (Bild 10) in jeder der 8 Passagiertüren des A350. In fast reiner Handarbeit wird die Grundierung abgeschliffen, um auf dem blanken Kupfer eine Kontaktfläche für die „Senk-Unterlegscheiben“ zu schaffen, damit das Lampengehäuse gut leitend angebunden ist.

Die Tür selbst ist ebenfalls als signifikante Störung des Rumpf-ECF zu bewerten. Deshalb ist eine sichere, niedrigohmige Verbindung der Tür ans Flugzeug ESN essentiell, um alle Energien schnellstmöglich zu evakuieren.

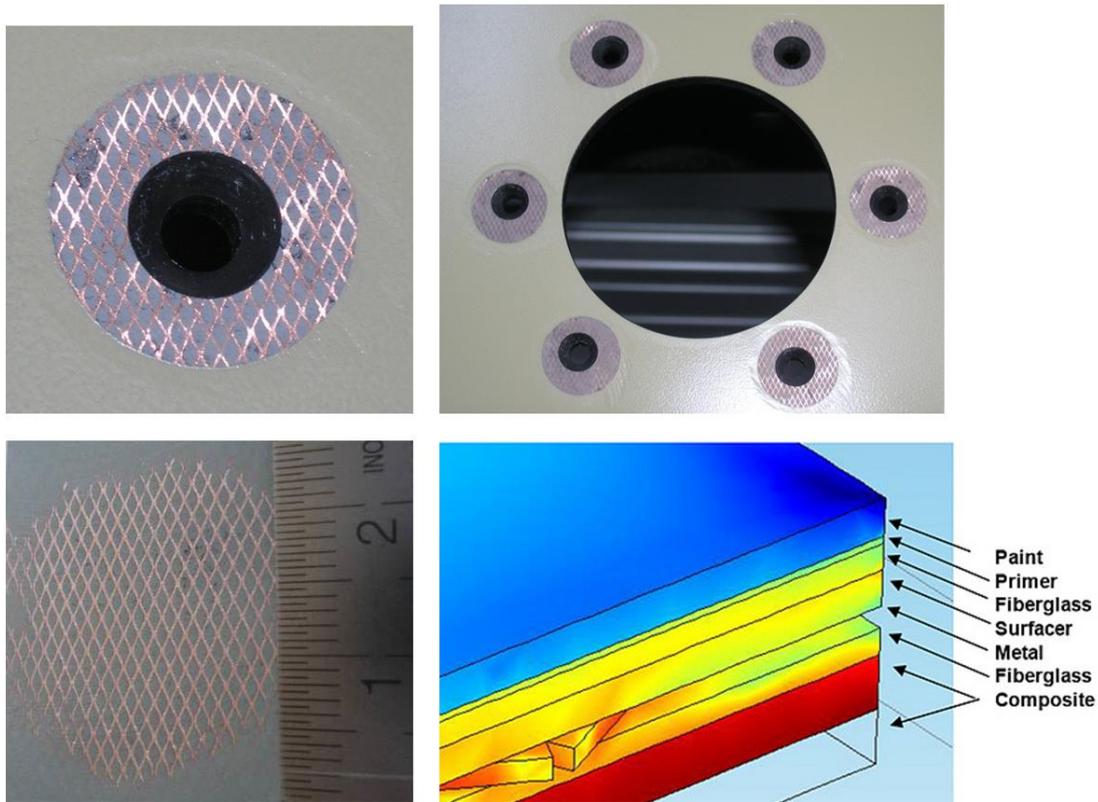


Bild 10: Copper Foil Anwendung/Aufbau

[Foil according to ABS5161:](#)

[thickness < 50µm](#)
[< 180g/m²](#)

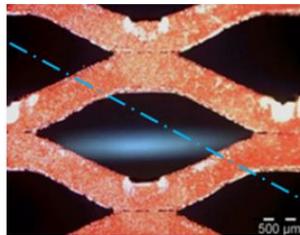


Bild 11: Copper Foil Detail

2.3 Requirements und Design Principles

Vereinfacht ausgedrückt sind die elektrischen Geräte selbst in Airbus Flugzeugen ausreichend gegen elektromagnetische Einflüsse abgehärtet. Dies wird auf Gerätelevel im Rahmen der üblichen Qualifikation nachgewiesen. Alle weiteren Maßnahmen, auch die zuvor beschriebenen, dienen dem Schutz der Struktur (hpts. der Kohlefaserstruktur), dem Schutz der Signale in den Systemen, der Stabilisierung der essentiellen Systemeigenschaften (z.B. Voltage Reference,...) sowie dem Schutz von Personen.

Es ist offensichtlich (Vielzahl der Systeme, Unterschiedlichkeit der Installationsbereiche und Umgebungseinflüsse), dass eine Simulation der Störungen sowie der Reaktion der Systeme, nur in wenigen Bereichen des Flugzeuges mit vertretbarem Aufwand vorgenommen werden kann.

Darüber hinaus ist die Erfahrung aus vorherigen Entwicklungsprogrammen einer der wesentlichen Punkte bei der Antizipation der diesbezüglichen Eigenschaften eines neu konstruierten Flugzeuges. Diese Erfahrung wird gesammelt und weitergegeben in Form

von Bauvorschriften (Design Directives, Requirements) und Konstruktionsstandards (Design Principles).

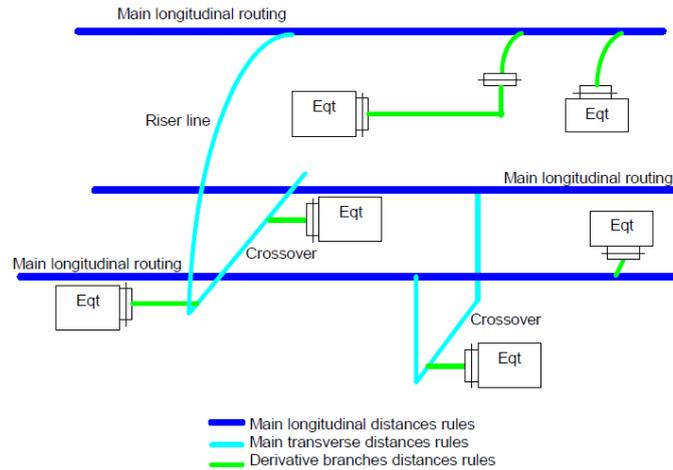


Bild 12: Airbus Design Principle – Richtung/Orientierung der Leitungen

Die Einhaltung dieser Regeln verspricht dem Flugzeughersteller, dass alle elektrischen Systeme im Flugzeug sich unter den zu erwartenden Bedingungen und Umständen, sicher betreiben lassen, und sich in allen Situation sich so verhalten wie es notwendig ist.

Viele Regeln haben mit der Hauptrichtung (Bild 12) und den Abständen zwischen Leitungen verschiedener Systeme und Funktionen (Bild 13) zu tun.

The coupling length is the total length where 2 bundles are routed in the same direction (e.g. longitudinal, transverse...), with a distance between them less than

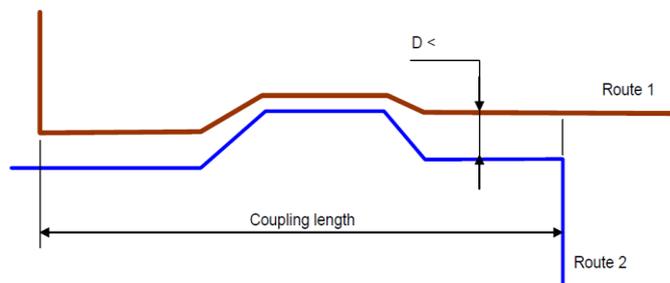


Bild 13: Airbus Design Principle – max. örtliche Koppellänge

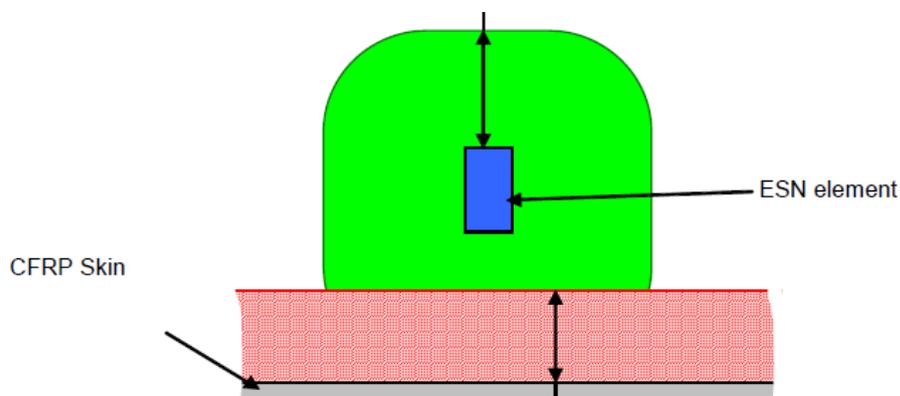


Bild 14: Airbus Design Principle – max. Distanz zur Außenhaut und ESN Element

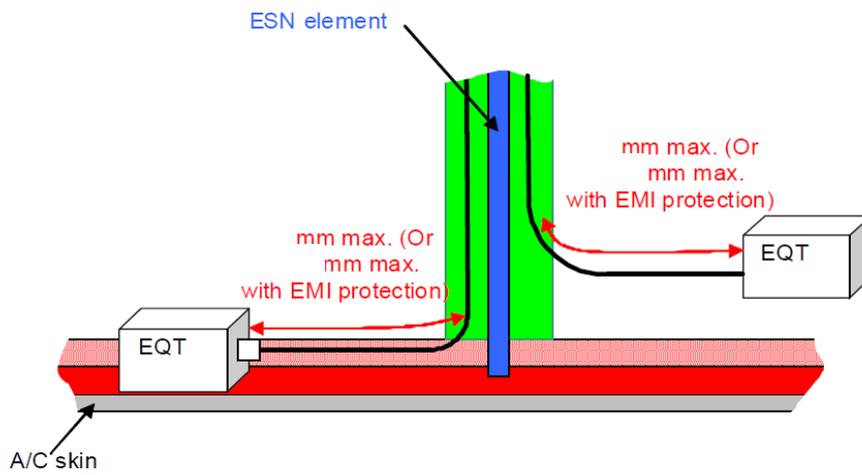


Bild 15: Airbus Design Principle – max. örtliche Strecke ohne EMI Schutz

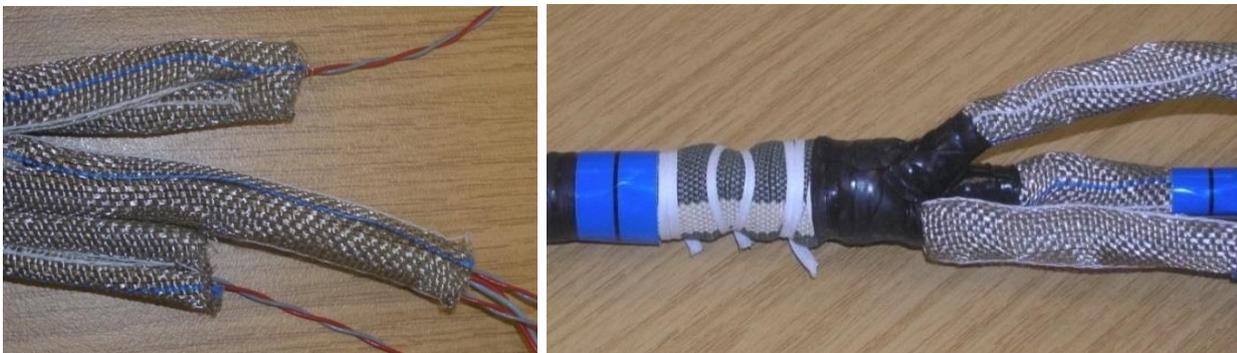


Bild 16: Standard EMI Schutzschlauch nach EN 4674 (Bündel-EMI-Schutz)

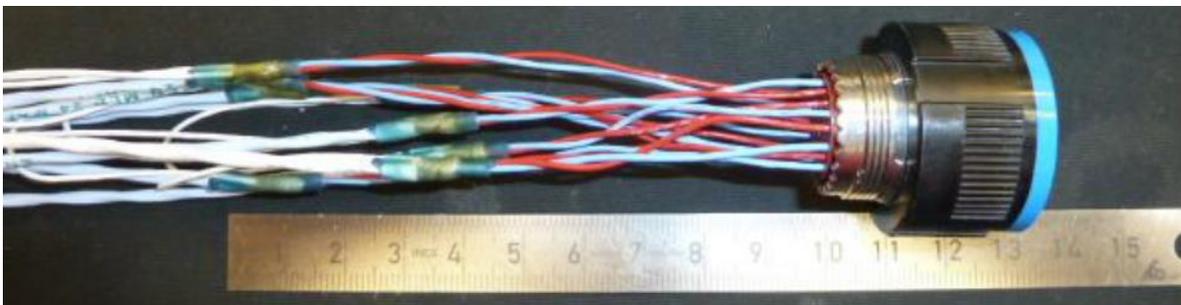


Bild 17: Individual Wire Shielding - Löt-Shielding-Verbinder



Bild 18: Verbindung Schirmung zum Stecker

3 Der Kompromiss – die Seriellösungen in der Passagiertüre

Die Passagiertüre gehört zu den am höchsten integrierten Bereichen im Flugzeug. Die engen Türstrukturen sind durchzogen von der Verriegelungs- und Notrutschenmechanik und Auslösemechanik zum Notöffnungsaktuator. Isolierung und Verkleidungsteile begrenzen den Bauraum ebenso wie das Notrutschenpaket. Viele Airbus-Direktiven können daher nicht, oder nicht vollständig, konstruktiv umgesetzt werden.

Zu den ca. 450 „Requirements“ im Bereich System Installation mussten im Programm A350 ca. 50 „Deviations“ erstellt werden. (Genehmigungspflichtige Abweichungen von den zertifizierten Airbusvorgaben.) Einige typische Türsituationen/Deviations sind in den folgenden Bildern gezeigt:



Bild 19: Schrimableitung vor dem Gerät, Biegeradien, mangelnde Bündelflexibilität, 3-fach Verzweigung

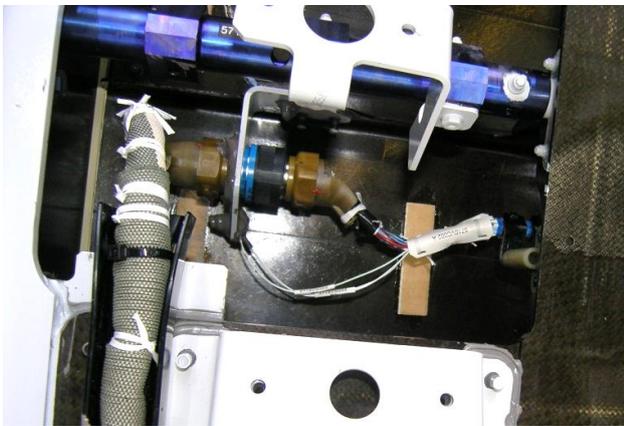


Bild 20: Übergang Bündel-/Leitungsschirm

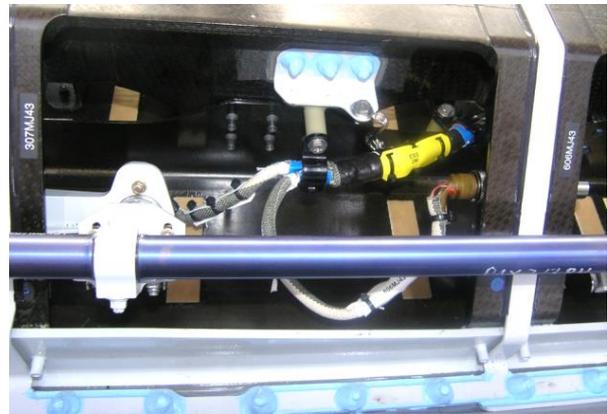


Bild 21: Details vgl. Bild 19



Bild 22: Spezielle Fertigungsanweisung

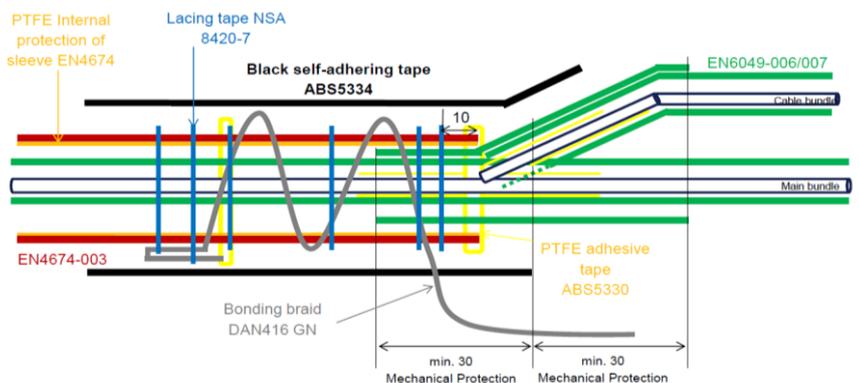
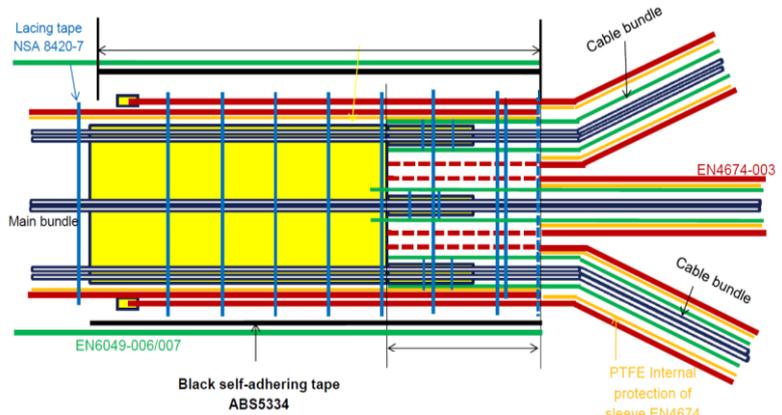




Bild 23: Spez. Fertigungsanweisung



4 Validierung

Das Fehlen einer kompletten theoretischen Betrachtung erzwingt einen Nachweis durch einen Versuch. Im 1:1-Test wurde eine vollständige Passagiertüre mit Blitzen beaufschlagt. Maßgebend sind bei derartigen Tests, die einschlägig bekannten Richtlinien aus der RTCA-DO160 hinsichtlich der Energiemenge, des zeitlichen Verlaufes, der Fokussierung und Positionierung der Prüfblitze. Je nach Gefährdungszone am Flugzeug kommen normierte Waveforms der Blitze zur Anwendung. Mit der Waveform ist der zeitliche Verlauf der des Blitzstromes vorgegeben. Hier wurde mit der Waveform 1 getestet, welche einem max. Strom von 200kA entspricht.

Testziele:

- Validierung der strukturellen Integrität nach einem oben beschriebenen Blitzeinschlag (Details siehe Bilder 24 und 25). Primärkriterium: Beeinträchtigung der weiteren Belastbarkeit der Bauteile und deren Verbinder; Beurteilung der „Limit-Load“- und „Ultimate-Load“-Fähigkeit; Risiko eines Operationsabbruches durch z.B. Druckverlust;
- Ermitteln der induzierten Signale in den Leitungen: kein hartes Pass-/Fail-Kriterium sondern Beurteilung der „Reserven“ in den mit der Tür verbundenen und benachbarten Systemen auf Flugzeuglevel.

Resultat und Bewertung:

- Obwohl die Beschädigung der Außenhaut im stark vergrößerten Bild 25 beeindruckend wirkt, wurde in der Analyse die Rest-Festigkeit an dieser Stelle als deutlich ausreichend eingestuft. Es sind ausser dem Oberflächenschutz und der Glaslage nur wenige der vorhandenen Kohlefaserschichten zerstört.
- Die üblichen Richtwerte der Signale (<1500V Common voltage to structure, <300V differential voltage to harness I/F, short circuit current <60A) wurden nicht in relevantem Maße überschritten. In der Analyse der Verträglichkeit dieser Effekte in/mit den Gesamtsystemen wurde festgestellt dass die Ausfallsicherheit auch nach einem Blitzereignis unvermindert Bestand hat. Auch an den Bündeln konnte keine Beschädigung festgestellt werden. In der Serienfertigung wird jedes Bündel eine Hochspannungstest bei 1500V unterzogen, so dass dieses Ergebnis auch erwartet werden konnte.



Bild 24: Full Scale Blitztest



Bild 25: Max strukturelle Einwirkung

5 Fazit

Es wurde gezeigt dass die Voraussage der vorhandenen Dämpfungseigenschaften gegen elektromagnetische Effekte generell in einem modernen Verkehrsflugzeug darauf beruht die Konstruktionsdirektiven stetig weiterzuentwickeln, um permanent alle Erfahrungen aus dem täglichen Betrieb, in aktuelle und künftige Entwicklungsprogramme einfließen zu lassen. Es ist offensichtlich, dass Versuche am komplett ausgerüsteten Flugzeug nicht mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand durchführbar sind. Deshalb werden in der Regel Teilsysteme oder Teilbereiche getestet. Als ein solcher Teilbereich ist eine Flugzeuggestüre ein Gebilde innerhalb dessen es weitere physikalische Grenzen in der Umsetzung der Standardschutzlösungen gegen elektromagnetische Einflüsse gibt. Auf dem Weg zur zertifizierten Serienlösung ist es essentiell dass bekannte technische Lösungen angepasst oder ersetzt werden. Diese modifizierten Bauweisen müssen, in enger und permanenter Zusammenarbeit mit den Systemarchitekten und EMV-Spezialisten des Flugzeugherstellers Airbus, bewertet werden.

Im Rahmen der Entwicklung und Zulassung der A350 Passagiertüren wurden detaillierte Betrachtungen, Anpassungen und Versuche angestellt und dokumentiert, die für alle weiteren Entwicklungsprogramme eine wertvolle und belastbare Basis darstellen.