

DIN EN 3197



ICS 49.060

Entwurf

Einsprüche bis 2023-08-16
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 3197:2011-03

**Luft- und Raumfahrt –
Konstruktion und Installation elektrischer und optischer Verkabelung
in Luftfahrzeugen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 3197:2023**

Aerospace series –

Design and installation of aircraft electrical and optical interconnection systems;
German and English version prEN 3197:2023

Série aérospatiale –

Conception et installation de systèmes d'interconnexion électrique et optique d'aéronefs;
Version allemande et anglaise prEN 3197:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-06-16 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 279 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Nationales Vorwort

Der Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie – Normung (ASD-STAN) ist vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) für zuständig erklärt worden, Europäische Normen (EN) für das Gebiet der Luft- und Raumfahrt auszuarbeiten. Durch die Vereinbarung vom 3. Oktober 1986 wurde ASD Assoziierte Organisation (ASB) des CEN.

Das vorliegende Dokument (prEN 3197:2023) wurde von ASD-STAN, Fachbereich Elektrotechnik, unter Mitwirkung deutscher Experten des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-04-08 AA „Installationskomponenten“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Entsprechend Beschluss 57/9 des Technischen Ausschusses des Beirats des DIN-Normenausschusses Luft- und Raumfahrt (NL) sind die europäischen Luft- und Raumfahrt-Normungsergebnisse zweisprachig, in Deutsch und Englisch, in das Deutsche Normenwerk zu überführen. Aus diesem Grund wird die Norm beide Sprachfassungen enthalten.

Es wird darauf hingewiesen, dass auf Grund der Verfahrensweise zur Normenerstellung bei ASD-STAN dieser Norm-Entwurf E DIN EN 3197 ausschließlich der formellen Annahme der deutschen Sprachfassung von EN 3197 dienen kann. Im Rahmen dieser Umfrage sind daher ausschließlich redaktionelle Stellungnahmen zur deutschen Übersetzung möglich.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 3197:2011-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich aktualisiert;
- b) normative Verweisungen aktualisiert;
- c) Abschnitt „Begriffe“ überarbeitet;
- d) Abschnitt „Allgemeine Anforderungen“ überarbeitet;
- e) Abschnitt „Auswahl von EWIS- und OFIS-Komponenten“ überarbeitet;
- f) Abschnitt „Kennzeichnung von EWIS-Komponenten“ überarbeitet;
- g) Abschnitt „Trennung und anzuwendende Grundsätze“ überarbeitet;
- h) Abschnitt „Grundsätze für Installation und Herstellung“ überarbeitet;
- i) Abschnitt „Modifikation und Reparaturen durch STC-Bewerber“ überarbeitet;
- j) Anhang A und Anhang B aktualisiert;
- k) Anhang D hinzugefügt;
- l) Dokument redaktionell überarbeitet.

<i>Titel de:</i>	Luft- und Raumfahrt — Konstruktion und Installation elektrischer und optischer Verkabelung in Luftfahrzeugen
<i>Titel en:</i>	Aerospace series — Design and installation of aircraft electrical and optical interconnection systems
<i>Titel fr:</i>	Série aérospatiale — Conception et installation de systèmes d'interconnexion électrique et optique d'aéronefs

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Einschränkungen.....	6
5 Allgemeine Anforderungen.....	6
6 Auswahl von EWIS- und OFIS-Komponenten	27
7 Kennzeichnung von Komponenten.....	66
8 Trennung und anzuwendende Grundsätze.....	70
9 Grundsätze für Installation und Herstellung	85
10 Modifikation und Reparaturen durch Bewerber für die Ergänzende Musterzulassung (STC, en: Supplementary Type Certification).....	119
11 Sicherheit von EWIS- und OFIS-Komponenten	120
Anhang A (informativ) EN 3197 Genaue Inhaltsangabe.....	121
Anhang B (informativ) Hauptsächliche normative Verweisungen und ASD-STAN-Fachberichte nach Produktfamilie	129
Anhang C (informativ) Differenz im elektrochemischen Potential zwischen einigen Leiterwerkstoffe (in mV)	142
Literaturhinweise.....	145

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 3197:2023) wurde vom Verband der Europäischen Luft-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie — Normung (ASD-STAN) erstellt.

Nachdem Umfragen und Abstimmungen entsprechend den Regeln dieses Verbandes durchgeführt wurden, hat dieses Dokument die Zustimmung der nationalen Verbände und offiziellen Behörden der Mitgliedsländer von ASD-STAN erhalten, bevor es CEN vorgelegt wurde.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 3197:2016 ersetzen.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind in Tabelle 1 aufgeführt:

Tabelle 1 — Wesentliche Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe

prEN/EN Number	Ausgabe	Veröffentlichungsdatum	Änderung	Grund und Validierung
prEN 3179	P1	August 1993	erste Ausgabe	
prEN 3179	P2	April 2010	neu verfasst	behandelt Anforderungen von Jar-25
EN 3179	E1	Dezember 2010		
prEN 3179	P3	September 2016	zusätzliche Abschnitte	Aktualisierung zum Einfügen gewonnener Erkenntnisse; ersetzt EN 3197:2010
prEN 3179	P4		zusätzliche Abschnitte	zusätzliche Anforderungen zur Behandlung neuer höherer EWIS-Spannungen

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument liefert Anweisungen zu Verfahren, die bei der Entwicklung, Auswahl, Fertigung, Installation, Reparatur und Änderung elektrischer und optischer Verkabelungen von Luft- und Raumfahrzeugen, heute EWIS (en: Electrical Wiring Interconnection System) und OFIS (en: Optical Fibre Interconnection Systems) genannt, innerhalb der in Abschnitt 4 dieses Dokuments festgelegten Einschränkungen anzuwenden sind. Luft- und Raumfahrzeuge umfassen bemannte und unbemannte Luftfahrzeuge, Hubschrauber, Luftfahrtgerät nach dem Prinzip leichter-als-Luft, Flugkörper und Außenbehälter.

Die allgemeine Inhaltsangabe dieses Dokuments befindet sich auf Seite 2.

Anhang A dieses Dokuments enthält eine genaue Inhaltsangabe.

Alle auf EWIS und OFIS bezogenen relevanten Europäischen Normen sind in Anhang B dieses Dokuments aufgeführt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 2083¹, *Luft- und Raumfahrt — Leiter aus Kupfer oder Kupferlegierung für elektrische Leitungen — Produktnorm*

EN 2242², *Luft- und Raumfahrt — Crimpen von elektrischen Leitungen mit Leitern nach EN 2083, EN 4434 und EN 2346*

EN 2283, *Luft- und Raumfahrt — Prüfung der Verkabelung von Luftfahrzeugen*

EN 2591-601, *Luft- und Raumfahrt — Elektrische und optische Verbindungselemente — Prüfverfahren — Teil 601: Optische Elemente; Einfügungsdämpfung*

EN 2812, *Luft- und Raumfahrt — Abisolieren von elektrischen Leitungen*

EN 2853, *Luft- und Raumfahrt — Strombelastbarkeit von elektrischen Leitungen mit Leiter nach EN 2083*

EN 3371, *Luft- und Raumfahrt — Elektrische Masseverbindung — Technische Lieferbedingungen*

EN 3373-*, *Luft- und Raumfahrt — Kabelschuhe und Stoßverbinder zum Crimpen auf elektrischen Leitungen*

EN 3475-*, *Luft- und Raumfahrt — Elektrische Leitungen für Luftfahrtverwendung — Prüfverfahren*

¹ In Verbindung EWIS und OFIS, alle heute existierenden normativen Verweisungen von ASD für die einzelnen Produktfamilien sind in Anhang B zu finden.

² Veröffentlicht als ASD-STAN-Norm zum Zeitpunkt der Herausgabe dieses Dokuments durch die AeroSpace and Defence Industries Association of Europe – Standardization (ASD-STAN), <https://www.asd-stan.org/>.

* Alle in diesem Dokument angegebenen Teile.

EN 3719, *Luft- und Raumfahrt — Leiter aus Aluminium oder Aluminiumlegierung für elektrische Leitungen — Produktnorm*

EN 3745-*, *Luft- und Raumfahrt — Faseroptische Leitungen für Luftfahrzeuge — Prüfverfahren*

EN 4434, *Luft- und Raumfahrt — Leichter Leiter aus Kupfer oder Kupferlegierung für elektrische Leitungen — Produktnorm (Normale und enge Toleranzen)*

EN 4651, *Luft- und Raumfahrt — Leiter aus Aluminiumlegierung mit Kupferbeschichtung für elektrische Leitungen — Produktnorm*

TR 4684³, *Luft- und Raumfahrt — Elektrotechnik und Definitionen von Bauteilen*

ASD S1000D (revision 4.1), *International Specification for Technical Publications*

ISO 2685⁴, *Aircraft — Environmental test procedure for airborne equipment — Resistance to fire in designated fire zones*

MIL-STD-202G⁵, *Test method standard electronic and electrical component parts*⁴

A-A-52080-84⁵, *Specification tape, lacing and tying*

SAE AS81824/1⁶, *Splice, electric, permanent, crimp style copper, insulated, environment resistant, class 1*

SAE AS83519/2⁶, *Shield termination, solder style, insulated, heat-shrinkable, environment resistant with pre-installed leads for cables having tin or silver plated shields (class I)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach TR 4684 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Entwicklungsstelle

in diesem Dokument bezeichnet der Begriff Firmen, die für die ursprüngliche Entwicklung zuständig sind oder eine Entwicklungsvereinbarung abschließen, für die eine Zulassung durch regelsetzende Behörden erforderlich ist

³ Als ASD-STAN-Fachbericht zum Datum der Veröffentlichung dieses Dokuments veröffentlicht durch AeroSpace and Defence Industries Association of Europe – Standardization (ASD-STAN), <https://www.asd-stan.org>.

⁴ Veröffentlicht durch: ISO International Organization for Standardization, <https://www.iso.ch/>.

⁵ Veröffentlicht durch: DoD National (US) Mil. Department of Defense, <https://www.defense.gov/>.

⁶ Veröffentlicht durch: SAE International (US) Society of Automotive Engineers, <https://www.rtca.org/>.

3.2

regelsetzende Behörde

in diesem Dokument bezeichnet dieser Begriff die Organisationen wie die European Aviation Safety Agency (EASA) und die Federal Aviation Administration (FAA), die dafür zuständig sind, die zu erfüllenden Regeln aufzustellen, die Entwicklung zu prüfen und die Verkehrszulassung auszustellen

3.3

elektrisches Strukturnetzwerk

ESN, en: Electrical Structure Network

Verwendung der metallischen Haut oder Struktur des Luftfahrzeugs als Teil des elektrischen Netzwerks für Potentialausgleich und Stromrückführung

3.4

Metallbindungsnetzwerk

MBN, en: Metallic Bonding Network

Verwendung einer separaten Anordnung metallischer Teile, die als elektrisches Netzwerk zum Zwecke des Potentialausgleichs dienen

4 Einschränkungen

Es wird anerkannt, dass die in diesem Dokument enthaltenen Installationsverfahren nicht notwendigerweise die vollständigen Voraussetzungen für eine sichere und zufriedenstellende elektrische und optische Verkabelung darstellen.

Bei Widersprüchen zwischen dem Text dieses Dokuments und den hierin zitierten Verweisen hat der Wortlaut dieses Dokuments Vorrang. Dennoch darf nichts in diesem Dokument Verfasstes Vorrang vor den spezifischen Anforderungen einer Entwicklungsstelle, den Lufttüchtigkeitsanforderungen, vor geltendem Recht oder jegliche durch regelsetzende Behörden aufgestellte Vorschriften haben, es sei denn, es wurde eine spezifische Ausnahmeregelung erwirkt.

5 Allgemeine Anforderungen

5.1 Anwendbare Regelsetzungen

5.1.1 Allgemeines

Von der EASA European Aviation Safety Agency (IR 21) und der FAR Federal Aviation Regulation (14 CFR, Part 21) — Zertifizierung von Luftfahrzeugen und zugehörigen Produkten, Bau- und Ausrüstungsteilen, und von Entwicklungs- und Herstellungsbetrieben.

5.1.2 Große Flugzeuge

Die wichtigsten Regelsetzungen, die bei der Festlegung der verschiedenen möglichen elektrischen Installationen in großen Flugzeugen zu erfüllen sind, werden abgeleitet von:

- Technischen Entwicklungsanforderungen von der EASA (European Aviation Safety Agency) die Certification Specification 25 (CS 25) und von der FAR (Federal Aviation Regulation) 14 CFR — Part 25.

5.1.3 Kleine und mittelgroße Flugzeuge einschließlich unbemannte Luftfahrzeuge

Von der EASA (European Aviation Safety Agency) die Certification Specification 23 (CS 23) und von der FAR (Federal Aviation Regulation) 14 CFR — Part 23.

5.1.4 Drehflügler

Die wichtigsten Regelsetzungen für die Festlegung der verschiedenen möglichen elektrischen Installationen in Drehflügelflugzeugen (Drehflüglern) werden abgeleitet von:

- Technischen Entwicklungsanforderungen (kleine Drehflügler)
von der EASA European Aviation Safety Agency Certifications Specification 27 (CS 27) und von der FAR (Federal Aviation Regulation) 14 CFR — Part 27.
- Technischen Entwicklungsanforderungen (große Drehflügler)
von der EASA European Aviation Safety Agency Certifications Specification 29 (CS 29) und von der FAR (Federal Aviation Regulation) 14 CFR — Part 29.

5.1.5 Luftfahrzeugtriebwerke

Von der EASA European Aviation Safety Agency Certifications Specification 33 (CS 33) und von der FAR (Federal Aviation Regulation) 14 CFR — Part 33.

5.2 Begriffsdefinition EWIS

„CS 25.1701 Elektrische Verkabelung, Definition

a) Der Begriff „elektrische Verkabelung“ (EWIS, Electrical Wiring Interconnection System) bezeichnet alle Kabel, Verkabelungseinrichtungen oder Kombinationen aus beiden, einschließlich Abschlussvorrichtungen, die in einem beliebigen Bereich des Flugzeugs zur Übertragung elektrischer Energie zwischen zwei oder mehr Abschlusspunkten installiert sind. Mit den in Unterabschnitt (c) dieses Unterabschnitts genannten Ausnahmen gehören hierzu:

- 1) Drähte und Leitungen;
- 2) Stromschienen;
- 3) der Abschlusspunkt an elektrischen Geräten, einschließlich denen an Relais, Stromunterbrechern, Schaltern, Schützen, Klemmenleisten, Schutzschaltern und sonstigen Schutzeinrichtungen;
- 4) Steckverbinder, einschließlich Durchführungssteckverbinder;
- 5) Steckverbinderzubehör;
- 6) Vorrichtungen zur elektrischen Erdung und zum Potentialausgleich und deren zugehörige Anschlüsse;
- 7) elektrische Spleiße;
- 8) Werkstoffe, die als zusätzlicher Schutz für Kabel eingesetzt werden, einschließlich Kabelisolierungen, Ummantelungen und Elektroinstallationsrohren, die zwecks Potentialausgleichs elektrisch abgeschlossen sind;
- 9) Abschirmungen oder Umflechtungen;
- 10) Schellen und andere Vorrichtungen zum Verlegen und Halten von Leitungsbündeln;
- 11) Kabelbinder;
- 12) Etiketten und andere Mittel zur Kennzeichnung;
- 13) Druckdichtungen.

- b) Die Begriffsdefinition in Unterabschnitt (a) dieses Unterabschnitts umfasst EWIS-Komponenten in Fächern, Tafeln, Schränken, Anschlusskästen, Verteilertafeln und Bus-Leiterplatten von Geräteschränken einschließlich, aber nicht beschränkt auf die Bus-Leiterplatten von Leiterplatten, Vorrichtungen zu Kabelintegration und die externe Verkabelung von Geräten.
- c) Mit Ausnahme der in Unterabschnitt (b) dieses Unterabschnitts angegebenen Geräte sind EWIS-Komponenten in den folgenden Geräten sowie zu diesen Geräten gehörige externe Steckverbinder von der Begriffsbestimmung in Unterabschnitt (a) dieses Unterabschnitts ausgeschlossen:
- 1) elektrische Geräte oder Avionik, die für Umgebungsbedingungen und mittels Prüfverfahren qualifiziert sind, wenn diese Bedingungen und Verfahren folgende Bedingungen erfüllen:
 - i) für die bestimmungsgemäße Funktion und die Betriebsumgebung geeignet; und
 - ii) für die Agentur zulässig.
 - 2) tragbare elektrische Geräte, die nicht Teil des Flugzeugbaumusters sind. Hierzu gehören persönliche Unterhaltungselektronik und Laptop-Computer;
 - 3) Glasfaser.“

5.3 Begriffsdefinition OFIS

Die Definition der optischen Verkabelung, jetzt OFIS (Optical Fibre Interconnection System) genannt, entstand durch Ähnlichkeit. Der übernommene Wortlaut ist wie folgt:

„OFIS bezeichnet alle optischen Fasern und Lichtwellenleiter, einschließlich Abschlussvorrichtungen, die in einem beliebigen Bereich des Luftfahrzeugs zur Übertragung optischer Signale zwischen zwei oder mehr dafür vorgesehenen Abschlusspunkten installiert sind. Mit den in Unterabschnitt (c) dieses Unterabschnitts genannten Ausnahmen gehören hierzu:

- 1) Fasern und Leitungen;
- 2) optische Datenbusse;
- 3) der Abschlusspunkt an Schutzeinrichtungen für Lichtwellensender und -empfangsgeräte;
- 4) Steckverbinder, einschließlich Durchführungssteckverbinder;
- 5) Steckverbinderzubehör;
- 6) Spleiße für Lichtwellenleiter.
- 7) Werkstoffe, die als zusätzlicher Schutz für Fasern und Leitungen eingesetzt werden, einschließlich Isolierungen und Elektroinstallationsrohren;
- 8) Schellen und andere Vorrichtungen zum Verlegen und Halten des Leitungsbündels;
- 9) Kabelbinder;
- 10) Etiketten und andere Mittel zur Kennzeichnung;
- 11) Druckdichtungen.

- a) *Die Begriffsdefinition in Unterabschnitt (a) dieses Unterabschnitts umfasst OFIS-Komponenten, die auf Fächern, Tafeln, Schränken und Bus-Leiterplatten von Geräteschränken und in Anschlusskästen und Verteilertafeln installiert sind.*
- b) *Mit Ausnahme der in Unterabschnitt (b) dieses Unterabschnitts angegebenen Geräte sind OFIS-Komponenten in den folgenden Geräten sowie zu diesen Geräten gehörige externe Steckverbinder von der Begriffsbestimmung in Unterabschnitt (a) dieses Unterabschnitts ausgeschlossen:*
- 1) *glasfaseroptische Geräte und Avionik, die für Umgebungsbedingungen und mittels Prüfverfahren qualifiziert sind, wenn diese Bedingungen und Verfahren folgende Bedingungen erfüllen:*
 - i) *für die bestimmungsgemäße Funktion und die Betriebsumgebung geeignet; und*
 - ii) *für die Agentur zulässig.“*

Besondere Hinweise zu OFIS sind in EN 4533-001 bis EN 4533-004 (siehe auch insbesondere B.3) enthalten.

5.4 Rangfolge in der Entwicklung

Bei der Entwicklung von EWIS und OFIS gilt die nachstehende Rangfolge:

1. Sicherheit;
2. Systemanforderungen;
3. Instandhaltungsfreundlichkeit und einfacher Aus- und Einbau der Kabel;
4. kostengünstige Produktion von Luftfahrzeugen.

Bei der Herstellung und Installation der Kabel sind folgende Ziele zu erfüllen:

- a) höchste Zuverlässigkeit;
- b) geringstmögliche Störungen und Einkopplungen zwischen den Systemen;
- c) Zugänglichkeit zu Inspektions- und Instandhaltungszwecken, einschließlich Reinigung;
- d) Vermeidung von Beschädigungen.

5.5 Erwägungen bei der Auswahl

Entwicklungsstellen müssen bei allen neuen europäischen Projekten möglichst Teilen, Werkstoffen, Richtlinien und Verfahren den Vorrang zu geben, die von bestehenden Europäischen Normen abgedeckt sind.

Alle auf EWIS und OFIS bezogenen relevanten Europäischen Normen sind in Anhang B dieses Dokuments aufgeführt.

Andernfalls müssen die Teile, Werkstoffe, Richtlinien und Verfahren die von den regelsetzenden Behörden aufgestellten Leistungs- und Sicherheitsanforderungen erfüllen.

5.6 Lebensdauer

Unter normalen Anwendungsbedingungen sind elektrische und optische Verkabelungen sowie ihre EWIS- und OFIS-Komponenten so auszuwählen und zu installieren, dass ihre Lebensdauer nicht unter derjenigen der Struktur des Luftfahrzeugs liegt, die bei einem handelsüblichen großen Starrflügelflugzeug im Allgemeinen und, sofern nicht anders festgelegt, 100 000 Flugstunden oder 20 Jahre (je nachdem, was zuerst eintritt) beträgt.

Bei militärischen Starrflüglern und Drehflüglern hängt die normale Lebensdauer von der Art des Luftfahrzeugs und dessen vorgesehener Rolle für jedes Luftfahrzeugmodell ab. Als Orientierung dürfen die folgenden Gruppen in Betracht gezogen werden.

Starrflügeltransportflugzeug	50 000 Flugstunden oder 20 Jahre
Starrflügeljet, Kampfjet	10 000 Stunden oder 15 Jahre
Drehflügelhubschrauber	10 000 Stunden oder 12 Jahre

Es darf jedoch nicht angenommen werden, dass alle EWIS- und OFIS-Komponenten diese Lebensdauer immer erreichen; die Installationen sollten so ausgelegt werden, dass Inspektionen, Prüfungen und Reparatur nach Regel CS 25.1725 in zufriedenstellender Weise ermöglicht werden.

In ähnlicher Weise sind bei Triebwerken/Motoren und Fahrwerken, die normalerweise eine Mindestlebensdauer von 10 000 Stunden haben, die Verkabelungen und deren Teile jedoch aufgrund der modularen Bauweise eine höhere Lebensdauer haben müssen, durch die Systemkonstruktion Inspektion, Prüfung und Reparatur in zufriedenstellender Weise ermöglicht werden.

Bei Geräten und Teilsystemen, die dafür ausgelegt sind, getrennt zu werden, ist die zulässige Anzahl der Verbindungs- und Trennvorgänge in den jeweiligen technischen Lieferbedingungen festzulegen.

In vielen Bauteilspezifikationen sind die angegebenen Lebensdauerwerte als maximale Betriebsbedingungen oder Anzahl der Betriebszyklen festgelegt; diese Informationen sollten nur als Richtwerte betrachtet werden, da die tatsächlichen Anwendungen sich stark voneinander unterscheiden.

5.7 Gefährdung durch Rauch und Brandgefahr

Die in dieser Norm definierten Komponenten von Verkabelungen wurden unter Berücksichtigung der Gefährdung durch Rauch und Giftstoffe unter Ausfallbedingungen konstruiert. Allgemeine Prüfanforderungen können in EN 2825 und EN 2826, artgebundene Prüfverfahren den jeweiligen Bauteilspezifikationen entnommen werden (siehe z. B. EN 3475-601 und EN 3475-602 zu elektrischen Leitungen und EN 3745-601 und EN 3745-602 zu Lichtwellenleitern).

Es liegt in der Verantwortung des Entwicklers, die Verwendung von Werkstoffen zu vermeiden, die unter jeglichen wahrscheinlichen Umständen des Gebrauchs oder Fehlgebrauchs einen schwerwiegenden Ausfallzustand erzeugen könnten.

Wenn erforderlich, muss bei der Entwicklung von EWIS- und OFIS-Installationen die Notwendigkeit eines angemessenen Schutzes oder einer sowohl physischen als auch elektrischen Trennung von Leitungen und Kabelbäumen berücksichtigt werden.

Für alle EWIS- und OFIS-Komponenten sind Anforderungen an Entflammbarkeit und Selbstlöschung festzulegen; es muss beachtet werden, dass diese Anforderungen beispielsweise dafür vorgesehen sind, die Ausbreitung eines Brandes entlang von Kabeln oder durch Freisetzung brennender Tröpfchen auf ein Mindestmaß zu verringern.

Trotzdem ist bei der Installation von EWIS und OFIS die Möglichkeit einer starken Überhitzung von elektrischen Leitungen in Betracht zu ziehen, daher müssen die maximale Anzahl und der Querschnitt von Leitungen sowie die damit verbundenen Belastungen im Kabelbaum berücksichtigt werden; Berechnung siehe EN 2853.

Es ist auf das Anzugsmoment der Schrauben an den Kabelschuhen zu achten.

Hinsichtlich der Überlegungen zu den Annahmenvoraussetzungen für elektrische und faseroptische Kabel sollte auf EN 3475 (elektrisch) bzw. EN 3745 (faseroptisch) oder auf für die Entwicklungsstelle zulässige alternative Normen Bezug genommen werden, in denen zulässige Prüfverfahren festgelegt sind, einschließlich Verfahren zur Prüfung auf Kriechwegbildung (siehe nächster Unterabschnitt).

Beschädigte elektrische Kabel und Isolierungen können Lichtbögen verursachen und den Funken liefern, der einen Brand auslöst. Es sollte beachtet werden, dass Verunreinigungen durch Stoffe wie Staub, Schmutz, Fusseln, Dämpfe usw. den Brennstoff für ein Feuer liefern können.

Wegen der möglichen Brandgefahr darf keine Silberbeschichtung in Bereichen verwendet werden, in denen sie Verschmutzungen durch Ethylenglykollösungen ausgesetzt ist, es sei denn, es werden geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen.

VERWENDUNG VON NICHTMETALLISCHEN KLEINTEILEN

Kleinteile sind Teile wie Knäufe, Handgriffe, Rollen, Verschlüsse, Klammern, Durchführungs dichtungen, Stoßleisten, Seilrollen und kleine Elektroteile, die nicht wesentlich zur Ausbreitung eines Brandes beitragen würden.

Wenn diese Teile in der gleichen Zone gruppiert sind, sind virtuelle Volumen äquivalent und müssen berücksichtigt werden. Es ist eine Überprüfung des Flammbarkeitsverhaltens durchzuführen, beispielsweise an einem homogenen Referenz-Prüfmuster des Werkstoffs von 50 mm Breite und 30 cm Länge.

Insbesondere ist Folgendes zu berücksichtigen:

- selbstlöschende Eigenschaften;
- Rauchdichte;
- Giftigkeit von Gasemissionen;
- tropfende Konstruktionswerkstoffe; die Isolierung usw. dürfen ein flammbares Produkt nicht entzünden (Papier nach ISO 4046).

5.8 Kurzschluss und Kriechwegbildung

5.8.1 Allgemeines

Die Erfahrung hat gezeigt, dass Menschen diese beiden Phänomene bei der Untersuchung von Beschädigungen durch Ausfall verwechseln können. Der folgende Unterabschnitt enthält Vorschläge für Mittel zur Unterscheidung dieser beiden Phänomene und technische Angaben zur Erläuterung der Unterschiede.

5.8.2 Beschreibung Kurzschluss

5.8.2.1 Ursache

Ein Phänomen elektrischen Ursprungs, das einen Überstrom erzeugt (mit oder ohne einen elektrischen Lichtbogen), der eine örtliche Verschlechterung einer oder mehrerer Kabel (Leiter und Isolierung) durch

Wärmeeinwirkung verursacht. Diese darf lokalisiert sein. Wenn der Fehlerstrom in ungeschützten Kabeln den Nennwert der Versorgungskreise überschreitet, könnte sich die Beschädigung über deren Länge erstrecken.

Der Ursprung dieses Phänomens ist der direkte Kontakt

- zwischen mindestens zwei Leitern (Kabelkern),
- eines Leiters mit der Struktur,

mit verschiedenen elektrischen Potentialen (Spannungen).

Der Überstrom tritt dann im beschädigten Schaltkreis auf und löst dadurch die vorgeschaltete Schutzeinrichtung (Schutzschalter, Sicherung usw.) aus.

Der Kurzschluss ist von kurzer Dauer (wenige Millisekunden bis zu wenigen Zehntelsekunden), wenn der Fehler entweder durch das Ansprechen von Schutzschaltungen oder durch das Verdampfen des Kurzschlussglieds beseitigt wird.

„Harte Kurzschlüsse“ liegen normalerweise vor, wenn der Kurzschlusspfad im Vergleich zum Versorgungsleiter einen ausreichend großen Querschnitt aufweist und, wenn er geschützt ist, normalerweise von kurzer Dauer ist. Derartige Fehler in ungeschützten Stromkreisen können große Beschädigungen verursachen (d. h. Leiter niedriger Impedanz).

Wenn der Stromkreis geschützt ist, sind „harte Kurzschlüsse“ normalerweise von kurzer Dauer.

5.8.2.2 Auswirkungen auf elektrische Leitungsbündel

In ungeschützten Stromkreisen (falsche Kompatibilität zwischen dem Kabelquerschnitt und der Bemessung der Schutzeinrichtung) können „harte Kurzschlüsse“ zu weitreichenden Beschädigungen an elektrischen Leitungsbündeln führen.

Die Verschlechterung hängt vom Stromfluss im Stromkreis ab.

Bei starken Kurzschlussströmen kann es zu einer Schädigung benachbarter Leitungen kommen.

Die Länge der Beschädigungen an Leitungen beträgt im Allgemeinen höchstens 70 mm.

Wenn Transistor-Schutzschalter verwendet werden, können geringfügige Anzeichen von Beschädigungen vorhanden sein, und es kann schwierig sein, die Stelle des Fehlers zu finden.

5.8.3 Beschreibung Kriechwegbildung

5.8.3.1 Ursache

Dieses Phänomen hat seinen Ursprung im Kontakt mindestens zweier Leiter (Kabelkern) mit verschiedenen elektrischen Spannungen, das entweder durch einen nass ausgelösten Lichtbogen (Elektrolytflüssigkeit und beschädigte Isolierung) oder einen trockenen Lichtbogen (Scheuern an der Struktur oder zwischen Leitungen) einen „ohmschen“ Kreis auslöst.

Die Folge ist das Auftreten von elektrischen Lichtbögen, die den Strom im Kreis bzw. in den Kreisen auf einen Gesamtwert beschränken, der unterhalb der Auslöseschwelle des vorgeschalteten thermischen Schutzschalters liegt.

Durch Rückkehr zur Quelle verursacht der elektrische Lichtbogen eine Verschlechterung der Leitung (Leiter und Isolierung) durch Wärmeeinwirkung.

Da die Schutzeinrichtungen nicht sofort auslösen, liegt die Dauer einer Kriechwegbildung im Vergleich über der eines Kurzschlusses und kann bis zu mehrere Sekunden betragen.

Das Phänomen endet, wenn:

- es zwischen benachbarten Leitern zu einem direkten „harten“ Kontakt kommt (Kurzschluss). Der Überstrom dann im beschädigten Schaltkreis auftritt und dadurch ein Auslösen der vorgeschalteten Schutzeinrichtung (Schutzschalter, Sicherung, ...) verursacht wird;
- die Stromflüsse aufgrund der Trennung der Kerne (Mangel an Instandhaltung, Sprengwirkung, ...) enden.

Die Möglichkeit dieses Phänomens wird verringert durch:

- die Verwendung von Leitungen, die widerstandsfähig gegen Kriechwegbildung sind (Werkstoffkombinationen dürfen verwendet werden, um die Leistung eines Isoliersystems zu optimieren);
- eine spezielle Vorrichtung angebracht wird, die dafür sorgt, dass die Schutzeinrichtung unmittelbar beim ersten Auftreten von Lichtbögen auslöst.

BEISPIEL Eine weitere Lösung ist die Verwendung von Störlichtbogenschutz, z.B. einem Schutzschalter mit Störlichtbogenerkennung (AFCB, en: arc fault circuit breaker). Dieser kann verwendet werden, um das Auslösen unmittelbar ab dem ersten Auftreten eines Lichtbogens zu beschleunigen und so Begleitschäden zu begrenzen.

Durch die Bereitstellung einer physischen Trennung oder eines zusätzlichen Schutzes zwischen Kabeln, wenn sie bei den betriebenen Kreisspannungen nicht als lichtbogenbeständig angesehen werden, könnte dieses Phänomen verhindert werden.

Bei Wechselstromanwendungen ist besondere Vorsicht geboten, da die Lichtbogenwiderstandsschwellen oft niedriger sind als bei Gleichstromanwendungen.

5.8.3.2 Auswirkungen auf elektrische Leitungsbündel

Kriechwegbildung kann in erster Linie anhand der folgenden Merkmale von Kurzschlüssen unterschieden werden:

- Die Leitungsisolierung ist teilweise oder vollständig zu schwarzen Kohlenstoffrückständen umgewandelt.
- Die Beschädigungen der Leitungen liegen immer zwischen der ursprünglichen Fehlstelle und der Versorgungsquelle.
- Es kann zu einer Schädigung benachbarter Leitungen kommen.

Wenn Transistor-Schutzschalter verwendet werden, können geringfügige Anzeichen von Beschädigungen vorhanden sein.

5.8.4 Kriechwegbildung

5.8.4.1 Allgemeines — Auslösen einer Kriechwegbildung für Prüfzwecke

Dieses Phänomen ist im Grunde eine Auswirkung von Wärmeeinwirkung, durch die eine Umwandlung bestimmter isolierender Polymere in elektrisch leitende Werkstoffe verursacht wird.

Das ist im Wesentlichen die Hauptursache für Netzwerke mit 115 V Wechselspannung/230 V Wechselspannung. Bei höheren Spannungen wird die Kriechwegbildung unabhängiger von der Kabelisolation.

Diese Schädigung der Isolierung kann auf unterschiedliche Weise ausgelöst werden; entsteht jedoch einmal ein Lichtbogen, ist die resultierende Reaktion die Gleiche.

Die traditionellen Prüfverfahren werden mit 115 V Wechselspannung durchgeführt, um alle in Luftfahrzeugen verwendeten Spannungsquellen (115/200 V Wechselspannung und 28 V Gleichspannung) abzudecken; es gibt drei Hauptverfahren, die als Nassprüfung, Trockenprüfung und nasse Kurzschlussprüfung klassifiziert werden.

Die Kriechwegbildung kann in 28-V-Gleichstromnetzen auftreten, entwickelt sich jedoch nicht zu einem anhaltenden Lichtbogen; deshalb wurde die Durchführung separater Gleichstrom-Lichtbogenbeständigkeitsprüfungen nicht für notwendig erachtet.

Es wurden überarbeitete Prüfverfahren entwickelt, um die Kriechwegbildung von Kabeln zu beurteilen, die in Stromnetzen mit Wechselspannungen bis zu 230 V Phase-Neutral und 400 V Phase-Phase eingesetzt werden.

Die bestehenden Prüfverfahren decken keine Spannungen über 28 V Gleichspannung oder 230/400 V Wechselspannung ab. Bei diesen höheren Spannungen kann die Widerstandsfähigkeit gegen Kriechwegbildung nicht nur durch die Leistung der Kabelisolation nachgewiesen werden. Die Schutzeinrichtung muss eine wesentliche Rolle spielen: Die Regeln für die Systemkonstruktion müssen einen Mindestschwellenwert für den Kurzschlussstrom festlegen, der kurze Auslösezeiten ermöglicht, so dass die beschädigte Kabelbaumlänge begrenzt ist und die Widerstandsfähigkeit gegen Kriechwegbildung nachgewiesen wird.

5.8.4.2 Nasse Kriechwegbildung — durch Feuchtigkeit oder Elektrolyte ausgelöste Kriechwegbildung

Hierbei handelt es sich um eine Oberflächenerscheinung, die über erhebliche Entfernungen wirken kann.

Wenn ein Ausfall auftritt, pflanzt sich der Konversionsprozess durch den Großteil der Isolierung fort und verursacht ausgedehntere Beschädigungen (siehe die nachfolgend angegebene Anmerkung). Auf der Polymeroberfläche wird eine ständige Zufuhr von Elektrolyt benötigt, um die typischerweise durch Beschädigungen freigelegten Punkte mit unterschiedlichen elektrischen Potentialen zu verbinden. Wenn die Elektrolytzufuhr ausreichend ist, verursachen zufällige, durch die Erwärmung des Elektrolyten trockene Stellen auf der Oberfläche sehr schwache Lichtbögen von kurzer Dauer (Szintillation). Diese Lichtbögen erreichen auf einer sehr kleinen Fläche Temperaturen von 1 000 °C und mehr und verursachen auf der Oberfläche der Isolierung ein charakteristisches baumähnliches Muster. Wenn ein Ast oder mehrere Äste des „Baums“ irgendwann einen geschlossenen Pfad zwischen den Elektroden bilden, entsteht ein anhaltender, heißer Lichtbogen mit hoher Leistung. Das kann eine Kettenreaktion bewirken, bei der angrenzender, ursprünglich nicht betroffener Isolierwerkstoff durch die entstehende hohe Energie und Temperatur in thermisch und mechanisch stabiles, elektrisch leitendes Graphit umgewandelt wird.

Die betreffende Prüfung erfolgt nach EN 3475-603. (Dieses Verfahren umfasst Optionen sowohl für die traditionelle 115/200-V-Wechselstromprüfung als auch für die 230/400-V-Wechselstromprüfung). Die für diese Prüfung verwendeten Bestanden-/Nicht-Bestanden-Kriterien basieren normalerweise auf der Anzahl der Isolationsfehler an den Kabeln mit Begleitschäden innerhalb des Prüfleitungsbündels (nur 115 V) sowie auf dem Abstand, die der Lichtbogen entlang des Prüfleitungsbündels (115 V, 230 V und höhere Spannungen) zurücklegt.

Begründung: Kabelbäume mit 115 V Wechselstrom dürfen auch Signalkabel enthalten, deren EMI-Kompatibilität nachgewiesen ist. Im Falle eines Kurzschlusses muss die Beschädigung der Signale auf ein Mindestmaß verringert werden. In diesem Fall sind Bestanden/Nicht-Bestanden-Kriterien unter Berücksichtigung von Begleitschäden angemessen. Bei höheren Spannungen bestehen die Kabelbäume nur aus Stromversorgungsleitungen. Deshalb ist im Falle eines Kurzschlusses die Menge der erzeugten Energie „wesentlich“ und die benachbarten Kabel werden beschädigt. Der Verlust des gesamten Kabelbaums ist während der Entwicklungsphase zu berücksichtigen, und die Folgen sind entsprechend den Systemanforderungen und Sicherheitszielen zu verhindern. Daher werden beschädigte benachbarte Kabel nicht berücksichtigt.

Die Prüfung wurde entwickelt, um die Auswirkung eines durch Feuchtigkeit entstehenden, elektrisch leitenden Pfades zwischen Beschädigungen an den Isolierungen benachbarter Leitungen zu simulieren. Diese Beschädigung kann durch Alterung der Isolierung oder durch mögliche mechanische Angriffe entstehen, beispielsweise durch Scheuern oder mangelhafte Heißprägungen.

5.8.4.3 Elektrische Erosion

Wenn ein Werkstoff keine leitenden Punkte an der Oberfläche ausbildet, kann die Szintillation durch Verdampfung oder Depolymerisation zum Verlust winziger Teile der Isolierung führen, während die Oberfläche chemisch unverändert bleibt. Bei Prüfungen auf nasse Kriechwegbildung ist es wichtig, die Bestanden-/Nicht-Bestanden-Kriterien so zu wählen, dass eine Unterscheidung zwischen einem plötzlichen Ausfall durch Kriechwegbildung und den langfristigen, vergleichsweise harmlosen Auswirkungen extremer Erosion von hierfür anfälligen Werkstoffen möglich ist.

Kabelisolierungen, die bei 115/200 V Wechselspannung und unter genormten Prüfbedingungen nach EN 3475-603 erodieren und dadurch einen Ausfall durch Begleitschäden verursachen, werden normalerweise nicht als zulässig für die Verwendung in Luftfahrzeugen für Leistungsverteilungsanwendungen angesehen.

Es ist wichtig zu beachten, dass alle für dauerhafte elektrische Erosion anfällige Isoliersysteme ausfallen, sogar Leitungen, die Begleitschäden ausgesetzt sind. Es ist lediglich eine Frage der Zeit.

Daher ist eine Sichtprüfung der Prüfstücke ein wichtiges Verfahren, um zwischen Kriechwegbildung und elektrischer Erosion zu unterscheiden (siehe 5.8.3.2).

5.8.4.4 Trockene Kriechwegbildung

Hierbei handelt es sich um einen Tiefeneffekt, keinen Oberflächeneffekt. Elektrolyt oder Feuchtigkeit sind nicht erforderlich. Dieses Phänomen ist historisch gesehen die häufigste Form der an Luftfahrzeugen beobachteten Kriechwegbildung.

An der „Fehl“stelle kommt es zu einer örtlich eng begrenzten Erwärmung über den Querschnitt der Isolierung. Zur Erwärmung kommt es durch unregelmäßig auftretende winzige Funken von kurzer Dauer, die durch eine Überbrückung freiliegender Leiter verursacht wird, welche einen herkömmlichen Schutzschalter nicht auslösen. Derartige Fehler sind als „splashing fault“ oder „ticking fault“ bekannt und können im Betrieb durch einen Schwingungskontakt zwischen Leiter und Struktur oder durch Biegen von Kabeln mit gebrochenen Leitersträngen entstehen. Derartige Funken wirken in ähnlicher Weise wie Szintillation und allmählich erfolgt eine Pyrolyse des gesamten Volumens des Isolierwerkstoffs. Das führt bei einem für Kriechwegbildung anfälligen Polymer zu einer leitenden Graphitstruktur, bei der es (wie im Falle der vorstehend beschriebenen nassen Kriechwegbildung) zu einer Kettenreaktion in einem Bündel kommen kann.

Bei den Prüfungen auf trockene Kriechwegbildung erfolgt das Auslösen typischerweise über eine vibrierende Metallkante, mit der stromführende Leiter an Punkten mit unterschiedlichen elektrischen Potentialen überbrückt werden.

Die betreffende Prüfung erfolgt nach EN 3475-604. Dieses Prüfverfahren simuliert die häufigste Ursache von Kriechwegbildungsereignissen, die in der Vergangenheit an Luftfahrzeugen beobachtet wurden. (Das Verfahren umfasst Optionen sowohl für die traditionelle 115/200-V-Wechselstromprüfung als auch für die 230/400-V-Wechselstromprüfung). Die für diese Prüfung verwendeten Bestanden-/Nicht-Bestanden-Kriterien basieren normalerweise auf der Anzahl der Isolationsfehler an den Kabeln mit Begleitschäden innerhalb des Prüflitungsbündels sowie auf dem Abstand, die der Lichtbogen entlang des Prüflitungsbündels zurücklegt.

Die Prüfung wurde entwickelt, um die Auswirkung eines durch Scheuern an der Struktur entstehenden, elektrisch leitenden Pfades zwischen Beschädigungen an den Isolierungen benachbarter Leitungen zu simulieren.

5.8.4.5 Prüfung auf nassen Kurzschluss

Hierzu gehört das gleichzeitige Kurzschließen mittels Tropfen von Elektrolyt, die die Isolierung entlang und über die freiliegenden, bündig abgeschnittenen Leiterenden eines Leitungsbündels rinnen. Die Leiter werden auf verschiedene Potentiale gebracht und aufgrund der kleinen Abstände zwischen den Leitern kommt es sehr schnell zu einer kräftigen Lichtbogenbildung an allen Kabeln. Es findet eine Kombination aus etwas Oberflächenszintillation zwischen der Elektrolyt-Tropfstelle und den Leitern statt, jedoch hauptsächlich kräftige Lichtbogenbildung über kurze Distanz, nämlich über den Querschnitt der Isolierung. Bei einer für Kriechwegbildung anfälligen Isolierung finden eine rasche Umbildung in eine Graphitstruktur sowie ein rasches „Rückbrennen“ in Richtung der Stromquelle statt. Bei einem gegen Kriechwegbildung resistenten System erodiert der Leiter selbst nach und nach in seiner Isolierung. Die Isolierung bleibt als Schlauch, und die Pfadlänge zwischen den Leitern vergrößert sich langsam, bis sie den Punkt erreicht, bei dem der Kurzschluss „von selbst erlischt“ und die Aktivität beendet ist.

Die betreffende Prüfung erfolgt nach EN 3475-605. (Das Verfahren umfasst Optionen sowohl für die traditionelle 115/200-V-Wechselstromprüfung als auch für die Prüfung von 230/400 V Wechselstrom). Die für diese Prüfung verwendeten Bestanden-/Nicht-Bestanden-Kriterien basieren normalerweise auf dem Abstand, die der Lichtbogen entlang des Prüflitungsbündels zurücklegt.

Die Prüfung wurde entwickelt, um die Auswirkung des Eindringens von Feuchtigkeit in das rückseitige Gehäuse eines Steckverbinders zu simulieren, in dem die Zapfendichtung mangelhaft ist; das kann zu Kurzschlüssen zwischen den rückseitigen Teilen von Stiften über die Kabelisolierung und/oder über die Oberfläche des Dichtungszapfens führen.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse dieser Prüfung sollte darauf geachtet werden, da die Rückbrennlänge durch die Erzeugung eines harten Kurzschlusses zwischen Leitern begrenzt sein kann, da ein geschmolzener Leiter die Lücke überbrückt und die Stromversorgung künstlich unterbricht und zu irreführenden Prüfergebnissen führt.

5.8.4.6 Anmerkungen zu den Merkmalen von Lichtbögen

Lichtbögen zwischen Metallteilen weisen eine hohe Stromdichte auf und sind vergleichsweise instabil; dadurch neigen sie dazu, Leiter schnell zu durchtrennen und dadurch Beschädigungen am fehlerhaften Kabel begrenzt werden. Lichtbögen von Graphit zu Metall oder zwischen Graphitteilen weisen eine geringe Stromdichte auf und sind über eine große Fläche verteilt, so dass sich die Unterbrechung des Schaltkreises verzögert; durch diese Verzögerung (nur wenige Millisekunden reichen aus) kann es bei für Kriechwegbildung anfälligen Werkstoffen zu einer Umwandlung der anliegenden Isolierung in leitfähigem Werkstoff und den dadurch möglichen Kettenreaktionen kommen.

5.9 Einbaugruppen

Bei der Entwicklung, Modifikation und Reparatur von EWIS- und OFIS-Komponenten muss jede der folgenden Gruppen entsprechend ihrer spezifischen Anforderungen berücksichtigt werden. Verweisungen hinsichtlich der Zoneneinteilung für militärische Luftfahrzeuge basieren auf ASD-STAN S1000D Chap. 3.4 „Zoning and access“:

- Brand und Hochtemperaturzonen (Triebwerkschächte): Kabelbäume für Triebwerke;
- wesentliche Geräte und Systeme, Kraftstoffzonen und Kraftstoffsysteme/Leitungssätze;
- Stromerzeugung und -verteilung — Hochleistung; und/oder Hochspannung
- nicht druckbelüftete, hohe Belastungen durch Wind und Feuchtigkeit ausgesetzte Bereiche des Flugwerks (SWAMP-Bereiche);
- Fahrwerk-Bereiche;
- Flugwerk allgemein;
- Geräteverkabelungen (Schnelltauschbaugruppen, Konsolen und Schränke usw.);
- Radio- und/oder Videofrequenz;
- Datenbus- und/oder digitale Videoverbindungen;
- LWL-Verbindungsabschnitte.

5.10 Berücksichtigung der Instandhaltung

Die Instandhaltungsfreundlichkeit von EWIS- und OFIS-Komponenten, einschließlich Reinigung, Inspektion und Prüfung, muss bei der Auswahl, Entwicklung, Installation und Kennzeichnung von Kabelbäumen, elektrischen/ optischen Leitungsbaugruppen und Komponenten der Verkabelung im Vordergrund stehen. Alle Leitungen sollten auf der von der Entwicklungsstelle festgelegten Instandhaltungsebene zugänglich, reparierbar und/ oder austauschbar sein. Andere spezifische, die Instandhaltung betreffende Anforderungen wie Reinigungsverfahren sind in dem entsprechenden Unterabschnitt zu dem Thema festgelegt.

Es muss beachtet werden, dass bei der Instandhaltung von EWIS und OFIS bestimmter Systeme oder Teile besondere Erwägungen zu berücksichtigen sind, Beispiele sind: Triebwerke, Fahrwerke, Fly-by-Wire, geschirmte Bündel, Waffen und Selbstschutz-Untersysteme.

Bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten an bestimmten Teilen des Luftfahrzeugs, z. B. Triebwerken, Tragflächen usw. müssen zusätzliche Überlegungen angestellt werden, z. B. hinsichtlich brennbaren Flüssigkeiten, durch die einige Vorgänge verboten sein können, z. B. die Verwendung von Heißluftpistolen.

5.11 Werkstoff- und teilebezogene Überlegungen

5.11.1 Allgemeines

Bei der Auswahl von EWIS- oder OFIS-Werkstoffen sind mindestens die Anforderungen nach Regel CS 25.603 zu berücksichtigen.

Teile und Werkstoffe, die in diesem Dokument aufgeführt sind, müssen verwendet werden, wo immer sie qualifiziert und für den Zweck geeignet sind, und müssen von qualifizierten, rückverfolgbaren Quellen bezogen werden. Wenn nicht genormte Teile und Werkstoffe verwendet werden müssen, sind diese zu

qualifizieren und müssen gleichwertig oder besser als ähnliche genormte Teile oder Werkstoffe sein und auch aus qualifizierten rückverfolgbaren Quellen bezogen werden. Der Originalgerätehersteller (OEM, en: original equipment manufacturer) und/oder der Endbenutzer muss in dem Fall, dass ein geeignetes genormtes Teil vorhanden ist oder auch nicht, die Konformität der Qualifizierung und Austauschbarkeit sicherstellen, um eine Genehmigung als Ersatz zu erhalten, wenn ein nicht genormtes Teil verwendet wird.

(Daher müssen Hersteller qualifiziert sein und rückverfolgbare Quellen nachweisen, bevor die Herstellung oder Lieferung beginnt).

Der OEM muss jedoch in der Zeichnung oder auf der Teileliste auf das genormte Teil verweisen und alle Ersetzungslisten gegenüber den genormten Teilen klar verwalten und nachverfolgen, wenn anwendbar; anderenfalls müssen festgelegte Teile oder Werkstoffe qualifiziert und in den Zeichnungen auf sie verwiesen werden.

5.11.2 Umweltrichtlinien

Es haben sich elektrische Komponenten oder Geräte betreffende Richtlinien wie die der EU (RoHS-REACH) entwickelt, die ab sofort ein Verbot von für gefährlich erachteten Stoffen wie Blei, Kadmium, Quecksilber und sechswertigem Chrom fordern, die in derartigen Komponenten oder Geräten enthalten sind. In Einzelfällen, bei denen keine Ersatzlösung vorhanden ist, muss eine Ausnahmegenehmigung von den Behörden eingeholt werden.

Die folgenden Fachberichte gelten für die Luftfahrt-, Raumfahrt- und Verteidigungsindustrie und ihre Lieferketten:

- TR 9535, *Luft- und Raumfahrt — Deklaration von Substanzen;*
- TR 9536, *Luft- und Raumfahrt — Deklarationspflichtige Substanzen — Empfohlene Vorgehensweise.*

Während der Lebensdauer des Flugwerks kann es vorkommen, dass vorhandene Komponenten gegenüber den vorstehend genannten Komponenten vorhandene Komponenten überholt sind; es ist darauf zu achten, dass Ersatzartikel ausgewählt werden, mit denen sie kompatibel sind; die Leistung der vorhandenen Systemkomponenten wird aufrechterhalten.

5.11.3 Metalle

Die verwendeten Metalle müssen korrosionsbeständig oder in geeigneter Weise für die zu erwartende Lebensdauer korrosionsgeschützt sein. Um das Risiko der galvanischen Korrosion auf ein Mindestmaß zu verringern, sollte die Potentialdifferenz zwischen zwei beliebigen, im gegenseitigen Kontakt stehenden Metallen höchstens 300 mV betragen, es sei denn, die Verbindung muss vor dem Vorhandensein vor Elektrolyten geschützt werden. Zu Potentialdifferenzen zwischen Nichtedelmetallen siehe Anhang C.

5.11.4 Verschiedenartige Metalle

Angewendete verschiedenartige Metalle müssen den Anforderungen von Tabelle 2 entsprechen. Die Anforderungen müssen für die Auswahl und den Schutz von Kombinationen verschiedenartiger Metalle und anderer wesentlicher Faktoren des Korrosionsverhaltens festgelegt werden.

5.11.5 Nichtmetalle

Alle verwendeten Nichtmetalle, einschließlich Kunststoffen, textilen Flächengebilden und Schutzbeschichtungen, dürfen den Wuchs von Mikroorganismen oder Pilzen nicht fördern und sollten durch Witterung sowie die im Betrieb des Luftfahrzeugs auftretenden Flüssigkeiten, Temperaturen und Umgebungsbedingungen nicht beeinträchtigt werden.

Zur Vermeidung einer Gefährdung der Insassen müssen sie:

- die einschlägigen Anforderungen der Entwicklungsstelle für Nichtentflammbarkeit einschließlich der Anforderungen von JAR 25 CS, Anhang F, erfüllen;
- im Brandfall keine Emissionen abgeben, deren Rauchdichte höher als ein festgelegter Grenzwert ist;
- keine giftigen Gase abgeben, deren Konzentration die festgelegten Werte überschreitet;
- keine statische Aufladung ermöglichen, wenn sie in einem brandgefährdeten Bereich installiert sind.

PVC-(Polyvinylchlorid-)haltige Kabelisolierungen und schützende Teile sind absolut verboten.

Polyamidwerkstoffe können für Kabelbinder und Teile zum Befestigen unter der Voraussetzung verwendet werden, dass sie nicht bei Anwendungen eingesetzt werden, die die umgebungsbezogenen Schutzgrade der Geräte überschreiten.

Es wird auf einige Fluoro-Elastomere hingewiesen, bei denen die Abbaurückstände, z. B. nach einem Brand, gefährlich sein können.

Die Lichtbogenfestigkeit der Kabelisolierung muss die Anforderungen der entsprechenden Norm erfüllen.

5.12 Qualität

5.12.1 Komponentenqualifizierung

EWIS- und OFIS-Komponenten müssen für die Verwendung in der Luftfahrt qualifiziert sein oder speziell als für den Bestimmungszweck zulässig und geeignet für die Umgebung bewertet werden, in der sie installiert sind, beispielsweise über die in EN 9133 festgelegten ASD-Qualitätsmanagementsysteme und Qualifizierungsverfahren.

Luftfahrzeughersteller führen zugelassene Komponenten in ihren Handbüchern auf, wie z. B. der Werksnorm für Verkabelungsverfahren (ATA Kapitel 20). Bei der Instandhaltung, Reparatur oder Modifikation eines Luftfahrzeugs sollten nur die in den einschlägigen Handbüchern aufgeführten Komponenten oder zugelassene Alternativen verwendet werden. EWIS- und OFIS-Modifikationen am ursprünglichen Baumuster sollten nach den gleichen Normen entwickelt und installiert werden, die der ursprüngliche Hersteller des Luftfahrzeugs verwendet, oder nach für die Behörden zulässigen, äquivalenten Normen. Dies liegt daran, dass die fachliche Entscheidung eines Herstellers für eine EWIS- oder OFIS-Komponente nicht immer nur durch die Anforderungen der Vorschriften bestimmt wird. In einigen Fällen würden bestimmte technische Beschränkungen dazu führen, dass eine Komponente gewählt wird, die das von den Vorschriften geforderte Mindestniveau überschreitet.

5.12.2 Prozessqualifizierung

Alle in der Produktion verwendeten Prozesse müssen für die Anwendung in der Luftfahrt qualifiziert oder speziell als für den Bestimmungszweck zulässig bewertet werden, falls verfügbar nach Normen wie z. B.:

- EN 2812 für das Abisolieren von elektrischen Leitungen; oder
- EN 2242 für das Crimpen von elektrischen Kontakten;
- EN 3373 für Kabelschuhe zum Crimpen;
- EN 2283 für die Prüfung der Verkabelung von Luftfahrzeugen.

Die bei der Instandhaltung, Reparatur oder bei Modifikationen verwendeten Prozesse müssen aus den gleichen Normen hervorgehen, die der ursprüngliche Hersteller des Luftfahrzeugs verwendet, oder aus für die Behörden zulässigen, äquivalenten Normen.

Für einige bestimmte Prozesse sind möglicherweise qualifizierte Bediener erforderlich; diese Qualifizierung muss regelmäßig neu validiert werden.

Bei der Durchführung von Instandhaltungsarbeiten an bestimmten Bereichen des Luftfahrzeugs, z. B. Triebwerken, Tragflächen usw., dürfen zusätzliche Überlegungen angestellt werden, z. B. brennbare Flüssigkeiten oder Gase, durch die einige Vorgänge verboten sein können, z. B. die Verwendung von Heißluftpistolen.

5.12.3 Prüfverfahren

Die in der Qualifikation, Validierung, in Expertisen oder technischen Vergleichen verwendeten Prüfverfahren sollten in anerkannten Normen enthalten sein, und insbesondere, wenn Europäische Normen wie EN 2591, EN 3475 usw. zur Verfügung stehen.

(Siehe die Liste der bestehenden Normen in Anhang B).

5.13 Spezifische Anforderungen

5.13.1 Hinweis

In diesem Abschnitt werden nur spezifische Anforderungen für Motoren, Hubschrauber und Leichtflugzeuge hervorgehoben. Alle sonstigen Anforderungen entsprechen diesem Dokument.

5.13.2 Motor

5.13.2.1 Allgemeines

Triebwerke haben keine druckbelüfteten Bereiche, sind jedoch normalerweise in Höhenlagen von weniger als 50 000 Fuß bei zivilen Luftfahrzeugen oder weniger als 100 000 Fuß bei militärischen Luftfahrzeugen in Betrieb.

Triebwerke sind normalerweise mit mehreren Kabelbäumen ausgestattet, die getrennt ausgebaut werden können und als Zubehör gelten. Jeder Kabelbaum ist serialisiert.

Kabel oder Leitungen, die in irgendeiner Form mit Überschutz umhüllt sind, werden nicht einzeln gekennzeichnet, obwohl bei einzelnen Kabelabschlüssen eine Kennzeichnung erforderlich ist, um Kreuzschaltungen zu vermeiden.

Jeder Kabelbaum und jeder Steckverbinder am Kabelbaum wird mit einer Funktionskennnummer gekennzeichnet.

5.13.2.2 Steckverbinder

a) Auswahl

Abgedichtete Steckverbinder und Verbindungsvorrichtungen sind vorgeschrieben.

b) Abdichtung

Bei Brandschotten müssen in allen Vertiefungen Kontakte eingebaut sein. Alle Öffnungen in der rückseitigen Durchführungsichtung müssen entweder mit einem Kabel, einem Blindstopfen oder einer Blindleitung verschlossen sein.

c) Mechanische Verriegelung

Steckverbinder, die über eine Selbstverriegelung verfügen, werden bevorzugt, wenn diese nicht zur Verfügung stehen, muss ein alternatives Verfahren angewendet werden.

5.13.2.3 Verkabelung und Befestigung

a) Empfohlener Mindest-Biegeradius

Die empfohlenen Mindest-Biegeradien für massive Kabelbäume (bei denen die Leitungen eng miteinander verbunden sind) und Verbindungskabelbäume sind:

- 1) Elektrische Kabelbäume;
 - das 5- bis 10-Fache des Querschnitts der Baugruppe in Abhängigkeit von der Kabelbaumtechnologie (z. B. unter Wärmeeinwirkung schrumpfende Schläuche oder Überflechtung des Kabelbaums);
 - der Mindest-Biegeradius aller einzelnen Leitungen darf nicht überschritten werden;
- 2) Datenkabelbäume, faseroptische Bündel und Hybridkabelbäume;
 - der empfohlene Biegeradius dieser Leitungen ist in 9.5.4, Tabelle 2 angegeben.

b) Schellen für Kabelbäume

Im Allgemeinen müssen Kabelbäume entweder mithilfe von verriegelten Befestigungsvorrichtungen (Typ P-Schellen) oder entriegelten Befestigungsvorrichtungen (Typ Omega-Schellen) am Triebwerk befestigt werden.

Es wird empfohlen, eine verriegelte Befestigungsvorrichtung zu verwenden, wenn das Risiko besteht, dass sich der Kabelbaum versehentlich bei Stößen oder bei Eingriffen an LRU-Zubehör und zwischen zwei beweglichen Punkten (an einer Flügeltür installierter Kabelbaum) löst.

Es wird empfohlen, die Ausrichtung (oben und unten) der entriegelten Befestigungsvorrichtung zu wechseln, um ein versehentliches Lösen des gesamten Kabelbaums zu vermeiden. Die Verwendung der Omega-Schellen wird in Bereichen mit abrupten Biegungen (90°) nicht empfohlen, um ein Aushängen oder Beschädigen des Kabelbaumzweigs zu vermeiden.

5.13.2.4 Installation

Elektrische Kabelbäume und faseroptische Bündel sollten so installiert werden, dass deren Aus- und Einbau möglich ist, ohne dass andere Komponenten des Triebwerks wie Halterungen, Rohre usw. entfernt werden müssen.

Wenn ein Kabelbaum oder ein Leitungsbündel Flanschverbindungen im heißen Bereich von Triebwerkhauptgehäusen überquert, ist in ausreichendem Maße darauf zu achten, dass eine Kabelisolierung nicht durch mögliche Heißgasleckagen beschädigt werden kann.

Der Kabelbaum oder das Leitungsbündel darf nicht parallel zu und oberhalb der Verbindung der Triebwerk-Hauptflansche verlegt werden, wo eine Heißgasleckage die Isolierung der elektrischen Leitungen zerstören oder zu Beeinträchtigungen am Außenmantel von Lichtwellenleitern führen kann.

Bei der Festlegung des Leitungsverlaufs sind folgende Punkte zu beachten:

- a) Vermeidung von oder Schutz vor Beschädigung während Installation und Instandhaltung von Triebwerken;
- b) Vermeidung von Bereichen, an denen Beschädigungen durch eine Bruchlandung eine Gefährdung darstellen würden;
- c) Zugänglichkeit für Instandhaltungsprüfung, Inspektion und Reparaturen;
- d) Vermeidung von jeglichen Positionen und/oder Formen, die zur Verwendung des Kabelbaums als Handgriff oder Fußstütze anregen würden;
- e) Ausfall mit gemeinsamer Ausfallart bei duplizierten Funktionen;
- f) Minimierung physischer Beschädigungen, die durch Brand, Bruch der Turbine, Bruch des Anlassers, Bruch eines Leitungsschachts oder Verunreinigung durch Flüssigkeiten entstehen können;
- g) Auswirkungsanalyse (en: FMEA, failure mode effect analysis) zur Signaltrennung;
- h) Ausbau des Kabelbaums ohne eine Störung anderer Systeme, die eine Neuprüfung des betreffenden Systems erfordern würde;
- i) Ausbau von LRU-Zubehör bei geringer Störung des Kabelbaums;
- j) relative Bewegung zwischen Steckverbindern/Abschlüssen und festen Punkten wie Schellen, Klemmenleisten usw.

Im Bereich der Sicherheitseinschließung für gelöste Turbinenblätter muss besonders auf den Mindestabstand geachtet werden, um gefährliche Beschädigungen zu vermeiden.

Es muss sorgfältig auf die Verbindungen zu Zubehör geachtet werden, die auf Schwingungsabsorbern montiert sind. Halterungen und Kabelbäume dürfen das installierte Zubehör nicht zusätzlich über die festgelegten Grenzen hinaus belasten. Der Hersteller des Zubehörs muss bei der Bestimmung der Anforderungen für die Schwingungsdämpfung die Verbindungsteile (Kabelbaum und dazugehörige Halterungen) und ihre Federkonstante berücksichtigen.

Bei Elementen, die mit der Schnittstelle des Masts verbunden sind, muss die entsprechende Bewegung zwischen Motor und Mast berücksichtigt werden.

5.13.2.5 Trennung

Bei zweikanalig elektronisch gesteuerten Motoren müssen die Kabelbäume für die zwei getrennten Kanäle auf unterschiedliche Steckverbinder gelegt werden, und die Trennung muss folgende Anforderungen erfüllen:

- a) Wo immer dies möglich ist, muss über den gesamten Verlauf des Kabelbaums die maximale Bahntrennung gewahrt bleiben.
- b) Für zivile Langstreckenflüge mit zweistrahligen Maschinen (ETOPS) muss die Bahntrennung in den als „Cross Engine Debris Areas“ bezeichneten Bereichen, in denen freifliegende Trümmer eines Triebwerks das verbleibende Triebwerk treffen können, aufrechterhalten werden.

- c) Außerhalb der „Cross Engine Debris Areas“ kann die Bahntrennung weniger streng gehandhabt werden, vorausgesetzt es besteht kein Risiko eines Ausfalls mit gemeinsamer Ausfallart. Der Mindestabstand muss den Lufttüchtigkeitsanforderungen genügen und sollte in den jeweiligen technischen Lieferbedingungen genannt werden. Wenn wegen Platzmangels die Anforderungen der technischen Lieferbedingungen nicht einzuhalten sind, muss eine Genehmigung der zuständigen Behörde eingeholt werden.

Zur Verringerung der Übertragung störender Funkfrequenzen von den Hochenergie-Zündleitungen (HE-Leitungen) zum Motorkabelbaum auf ein Mindestmaß dürfen die Leitungen nicht näher als 100 mm (4,00 Zoll) parallel zu den HE-Leitungen geführt werden. Wenn Leitungen HE-Leitungen kreuzen müssen, muss das möglichst in einem Winkel von 90° mit einer Mindestluftstrecke von 10 mm (0,39 Zoll) erfolgen. Wenn die beiden vorstehend angegebenen Bedingungen nicht erfüllt werden können, muss zwischen HE-Leitung und Leitung eine HF-Abschirmung gelegt werden, oder die HE-Leitungen müssen abgeschirmt sein.

5.13.3 Drehflügler

5.13.3.1 Allgemeines

Drehflügler dürfen bemannt oder unbemannt, militärisch oder zivil sein und werden typischerweise als Hubschrauber bezeichnet, können aber auch Kipprotorplattformen umfassen.

Ein Hubschrauber ist eine Art des Luftfahrzeugs, die sowohl Auftrieb als auch Vortrieb von horizontal befestigten, sich oben drehenden Rotoren mit einem Heckrotor, einem Mantelpropeller oder NOTAR (kein Heckrotor) erhält. Er ist dazu in der Lage, sich vertikal und horizontal zu bewegen, wobei die Bewegungsrichtung durch die Anstellwinkel der Rotorblätter gesteuert wird.

Aufgrund von rotierenden Massen von Rotorblättern können Hubschrauber im normalen Flugmodus stark vibrieren. Diese Schwingungskurven werden normalerweise in allgemeinen spezifischen Anforderungsdokumenten je Entwicklungsstellen-Plattform festgelegt. Es liegt in der Verantwortung der Entwicklungsstelle, dass sichergestellt ist, dass EWIS und OFIS Schwingungskurven berücksichtigen und sicherzustellen, dass die Auswahl der Komponenten und Installationsverfahren nicht durch Schwingungsfaktoren beeinträchtigt werden.

Es sollte berücksichtigt werden, dass Hubschrauber im Vergleich zu Starrflügelplattformen eine eingeschränkte absolute Dienstgipfelhöhe haben. Das schließt im Allgemeinen die Beurteilung der Leistungsminderung des Kabelbaums aus. Wenn die Hubschrauberkonstruktion die anerkannten Dienstgipfelhöhen überschreitet, liegt es in der Verantwortung der Entwicklungsstellen, die richtigen Parameter hinsichtlich der Leistungsminderung entsprechend den Tabellen zu beurteilen und aufrechtzuerhalten.

Kipprotor-Konstruktionen sind Hybridhubschrauber/Starrflügelflugzeuge; sie dürfen über druckbelüftete Bereiche verfügen. Entwicklungsstellen sollten deshalb gegebenenfalls sowohl Anforderungen an Hubschrauber als auch an Starrflügler berücksichtigen.

Hubschrauber werden in bestimmten Rollen in stark mit Salznebel belasteten Umgebungen eingesetzt. Entwicklungsstellen müssen die Auswahl von Komponenten und Installationen berücksichtigen, um einen optimalen Schutz vor diesen Umgebungen sicherzustellen.

Hubschrauber mit militärischer Funktion müssen den Anforderungen der beauftragenden Militärbehörde bezüglich auf Rüstungsanlagen entsprechen. Diese Anforderungen haben Vorrang vor den in EN 3197 festgelegten Anforderungen.

Bei der Einsparung von Masse ist zu beachten, dass die folgenden Punkte optimiert werden:

- 1) Lage der Geräte;

- 2) Verlegung von Kabelbäumen zwischen Geräten;
- 3) Auswahl der Arten und Querschnitte von Leitungen/Kabeln;
- 4) es werden zusammengesetzte Verbindungsmittel und Zubehör verwendet, die Blitzschlageinflüssen, Temperatureinflüssen und Umgebungseinflüssen (Beschichtungsoberfläche) widerstehen;
- 5) Elektrischer Kabelbaum/Komponenten von faseroptischen Bündeln;
- 6) Anbauten und Kabelhalterungen.

5.13.3.2 Steckverbinder

a) Auswahl

Wenn praktisch durchführbar, werden umgebungsfest abgedichtete Steckverbinder und Verbindungsvorrichtungen mit Stirnflächen- und rückseitigen Durchführungsdichtungen bevorzugt. Die Auswahl von Steckverbinderarten muss, sofern praktisch durchführbar, in der Luft- und Raumfahrt anerkannten Steckverbindern und Steckverbindernormen entsprechen. Wenn es keine Luft- und Raumfahrtnormen gibt, liegt es in der Verantwortung der Entwicklungsstellen, die Anwendung zu genehmigen.

b) Abdichtung

Nicht benötigte Öffnungen von umgebungsfest abgedichteten Steckverbindern müssen bestückt und an der rückseitigen Durchführungsdichtung abgedichtet werden, damit die umgebungsfeste Abdichtung des Steckverbinders erhalten bleibt.

Bei elektrischen Steckverbindern müssen die Vertiefungen mit nicht abgeschlossenen Kontakten bestückt werden und an der rückseitigen Durchführungsdichtung mit Blindstopfen oder Kontakten mit Blindleitungen abgedichtet werden.

Bei LWL-Steckverbindern müssen die Vertiefungen mit Verschlussstopfen bestückt werden. Die Verschlussstopfen müssen den Dichtungsanforderungen des faseroptischen Abschlusses entsprechen und an der Rückseite des Steckverbinderkörpers eine überstehende Verlängerung aufweisen, um das Einsetzen und Herausziehen zu erleichtern und als Anzeige zu dienen, dass ein Verschluss-Stopfen installiert ist

Bevor eine Leitung/ein Kabel in einen Steckverbinder installiert wird, muss auf die Produktnorm dieses Steckverbinders Bezug genommen werden, um sicherzustellen, dass der Außendurchmesser des Außenmantels des Kabels mit der Durchführungsdichtung des Steckverbinders kompatibel ist. Wenn der Durchmesser unterhalb der in der Produktnorm genehmigten Größe ist, muss er durch eine von der Entwicklungsstelle vorgegebene Ummantelung vergrößert werden.

c) Polarisierung

Der Haupt-Polarisationsschlüssel sollte sich an der Oberseite des festen Steckverbinders befinden (Vorderansicht des Geräts).

Zwischenstecker des Flugwerks bricht — Der Haupt-Polarisationsschlüssel sollte sich an der Oberseite des Bruchs des festen Steckverbinders befinden. Bei horizontaler Befestigung (nicht bevorzugt) sollte der Hauptschlüssel nach vorn zeigen.

Elektrische Steckverbinder sind winklig zu indizieren, insbesondere wenn rückseitige Steckverbinder mit Winkel-Endgehäusen verwendet werden.

5.13.3.3 Komponenten

Wenn praktisch anwendbar, müssen die ausgewählten elektrischen und faseroptischen Komponenten anerkannten Luft- und Raumfahrtnormen entsprechen. Wenn es keine Luft- und Raumfahrtnormen gibt, liegt es in der Verantwortung der Entwicklungsstellen, die Anwendung zu genehmigen.

5.13.3.4 Verkabelung und Befestigung

Wenn praktisch durchführbar, müssen ausgewählte elektrische Leitungen und Lichtwellenleiter, die für Kabelbäume von Hubschraubern ausgewählt werden, anerkannten Luft- und Raumfahrtnormen entsprechen. Wenn es keine Luft- und Raumfahrtnormen gibt, liegt es in der Verantwortung der Entwicklungsstellen, die Anwendung zu genehmigen.

EWIS und OFIS sollten so installiert sein, dass das Flugwerk oder die lokalisierte Struktur einen natürlichen Schutz für Kabelbäume und faseroptische Bündel bietet. Wenn das Flugwerk oder die lokalisierte Struktur keinen entsprechenden Schutz erfordert, sollten zusätzliche Schutzmaßnahmen oder ein passender mechanischer Schutz eingeführt werden.

Kabelbäume und Leitungsbündel sollten so verlegt werden, dass sie nicht durch äußere Kräfte, z. B. Ladung, beschädigt werden können, als Hand- oder Fußstütze verwendet und gegen Quetschen geschützt werden, z. B. wenn darauf getreten wird; andere Überlegungen sollten berücksichtigt werden, einschließlich:

- der Verlegung entlang schwererer Strukturelemente, wann immer es möglich ist;
- der Verlegung innerhalb von durch Wind und Feuchtigkeit hohen Belastungen ausgesetzten (SWAMP-)Bereichen sollte auf ein Mindestmaß beschränkt werden;
- dessen, dass scharfe Kanten durch geeignete Schutzkanten oder Durchführungs dichtungen geschützt werden müssen, um Scheuern zu verhindern;
- der Vermeidung der Verlegung unterhalb Rohren mit Flüssigkeiten;
- der Vermeidung der Verlegung zwischen der Außenhaut von Flugzeugen und Kraftstoffleitungen. In den Fällen, in denen es als notwendig angesehen wird, sollte der Leitweg schräg zum Rohr verlaufen, nicht parallel;
- der Vermeidung der Verlegung von Kabelbäumen und faseroptischen Bündeln entlang der Unterseite des Rumpfes oder innerhalb von 150 mm der Bilge;
- der Vermeidung der Verlegung über dem Fahrwerk oder in der Nähe von brennbaren Flüssigkeits- oder Kraftstoffleitungen oder Kraftstofftanks;
- der Sicherstellung, dass durch geeignete Verlegung oder Befestigung Kabelbäume oder Bündel nicht mit rotierenden oder beweglichen Teilen kollidieren;
- der Sicherstellung, dass es durch das Versagen eines Verschlusses nicht möglich ist, dass ein Kabelbaum oder Leitungsbündel mit rotierenden oder beweglichen Teilen kollidiert;
- der Anordnung von im Passagierraum installierten EWIS- und OFIS-Komponenten, dass verhindert wird, dass sie möglicherweise durch Passagiere beschädigt werden bzw. sie davor geschützt sind.
- der Verlegung von Kabelbäumen und Leitungsbündeln, die zu Sitzen hin und auf Sitzen verlegt werden, dass Beschädigungen durch äußere Einwirkungen, z. B. Gepäck, Füße usw. vermieden werden.

Trennabstände von Kabeln zu anderen (oder gleichartigen Barrieren) sollten unter Beachtung der vorstehend aufgeführten Faktoren bestimmt werden.

Wenn erforderlich müssen elektrische Verkabelung, Lichtwellenleiter oder gepufferte optische Fasern in Konsolen, Kästen und Schränken so installiert sein, dass durch den Abstand zwischen den verschiedenen Leitwegen die geforderte Trennung sichergestellt ist (wie von der Entwicklungsstelle festgelegt). Wenn das praktisch nicht erreichbar ist, sollte der Systeminhalt innerhalb der Umhüllung hinsichtlich EMV-Kopplung und/oder physischer Beschädigung und deren Auswirkungen auf die Sicherheit und den Einsatz des Hubschraubers berücksichtigt werden.

Wenn in Hubschraubern ein einziges Triebwerk mit doppelt redundanten Kanälen innerhalb der Steuerungsarchitektur des Triebwerks verwendet wird oder der Hubschrauber über mehrere Triebwerke mit/ohne doppelt redundanten Kanälen verfügt, ist die Bahntrennung anwendbar.

5.13.4 Leichte Luftfahrzeuge

Reserviert

5.13.5 Hilfstriebwerke

Siehe 5.13.2 bezüglich Motoren.

5.13.6 Verbundstrukturen

5.13.6.1 Elektrische Auswirkungen

Ein Metallrumpf unterstützt grundsätzlich die folgenden Funktionen:

- 1) Stromrückführung für Leistungs- und Signalkreise (Erdung);
- 2) Fehlerstromrückführung (Potentialausgleich);
- 3) Referenz für elektrische Signale (Referenzlage mit niedriger Impedanz);
- 4) Blitzschutz: Systeme, Struktur, Passagiere;
- 5) Schutz vor elektromagnetischen Feldern (HIRF, en: high-intensity radio frequency);
- 6) Referenzlage für Antennen.

Verbundwerkstoffe erfüllen keine dieser Anforderungen ohne die Zugabe von metallischen Komponenten oder Systemen, z. B.:

Verbundstrukturen können Folgendes unterstützen:

- Funktion 1, Funktion 2 und Funktion 3 mit dem Einsatz eines einzelnen elektrischen Strukturnetzwerks ESN oder MBN (Metallbindungsnetzwerk);
- Funktion 4 mit dem Einsatz von Metallfolie oder -gewebe zur äußeren Oberflächenstruktur;
- Funktion 5 und Funktion 6 mit dem Einsatz von Metallfolie auf der Innenseite der Struktur. Es muss besonders auf die Verkabelung in der Nähe von kohlenstoffhaltigen Verbundstrukturen geachtet werden, da sie die sekundären (indirekten) Wirkungen von Blitzschlag verstärken kann.

Für die Verdrahtung in Verbundstrukturen muss ein angemessener Schutz vorgesehen werden, um den Wirkungen durch Blitzschlag zu widerstehen.

Es müssen besondere Vorkehrungen getroffen werden, um die Verkabelung in den Bereichen der Kraftstofftanks zu schützen.

Es sind Maßnahmen zu ergreifen, um den Aufbau elektrostatischer Ladung auf Verbundstrukturen zu verhindern, insbesondere auf luftgespülten Oberflächen. Eine ausreichende elektrische Masseverbindung muss vorgesehen werden.

5.13.6.2 Thermische Auswirkungen

Die thermischen Eigenschaften von Verbundstrukturen entsprechen nicht denen von Metallstrukturen. Es muss besonders darauf geachtet werden, dass Folgendes vermieden wird:

- 1) Stromeinspeisung als Folge von Abrieb zwischen einem elektrischen Kabelbaum und einem Verbundteil, der eine Wärmeeinwirkung eines Kurzschlusses in unmittelbarer Nähe verursacht;
- 2) verminderte Fähigkeit für wärmeableitende Eigenschaften für strukturell befestigte Komponenten.

Derartige Ausfallarten können lokale Hotspots erzeugen, was zu Überhitzung führen und Feuer, Rauch, Stromeinspeisung und Lichtbogenbildung erzeugen kann.

5.13.6.3 Überlegungen hinsichtlich der Installation

Von den vorstehend aufgeführten Ausfallarten sollten mindestens die folgenden Anforderungen angewendet werden:

- Der Verlauf von Leitungen oder Kabelbäumen sollte so gewählt werden, dass die durch jegliche umgebenden Metallstrukturen bereitgestellte Schutzwirkung genutzt wird.
- Jeder Kontakt zwischen elektrischen Leitungen oder Kabelbäumen und Konsolen/Strukturen/Oberflächen aus Kohlefaser-Verbundstoffen, leitend oder nicht leitend, ist verboten. Um jegliche wechselseitigen Beschädigungen zu vermeiden, ist ein festgelegter Mindestabstand beizubehalten. Wenn dieser Abstand nicht eingehalten werden kann, sind am Kabelbaum oder am leitenden Verbundteil zusätzliche Schutzeinrichtungen vorzusehen.

5.13.6.4 Elektrisches Strukturnetzwerk (ESN)

Die Unversehrtheit des ESN muss über die gesamte Lebensdauer der Plattform beibehalten werden. Hierzu muss die Aufrechterhaltung des elektrischen Widerstandswerts zwischen zwei beliebigen Punkten des ESN garantiert sein.

6 Auswahl von EWIS- und OFIS-Komponenten

6.1 Anwendbare Regelsetzungen

Bei der Auswahl von EWIS- oder OFIS-Komponenten sind mindestens die EASA-Zertifizierungsanforderungen zu berücksichtigen.

6.2 Besondere Anforderungen

6.2.1 Kommunalität

Eines der Ziele bei der Auswahl der Teile muss die Maximierung der Kommunalität und Minimierung der Varianz der für den Bau, die Installation und die Instandhaltung der Verkabelung erforderlichen Bauteile und der Hilfsmittel sein.

6.2.2 Instandhaltung, Reparatur oder Modifikation

EWIS- und OFIS-Komponenten sind nach den in 5.12 angegebenen Anforderungen auszuwählen.

6.2.3 Werkstoffe

Bei für EWIS- und OFIS-Komponenten verwendeten Werkstoffen sind die werkstoffbezogenen Überlegungen in 5.11 zu berücksichtigen. Anschlussfasern und fliegende Verbindungen, die an Komponenten befestigt oder in diese eingebaut sind, müssen den allgemeinen Verdrahtungsanforderungen für Kabel innerhalb der Zone des Luftfahrzeugs entsprechen, in der sie angebracht werden.

6.3 Auswahl von elektrischen Leitungen und Lichtwellenleitern

6.3.1 Umgebung

Bei der Entscheidung für eine Kabelart, die für eine bestimmte Anwendung erforderlich ist, sollte sorgfältig vorgegangen werden. Es sollte ermittelt werden, ob die Bauform der Einzeldrähte und Leitungen für die Anwendungsumgebung geeignet ist. Für jede Installation wird die Kabelbauform gewählt, die während der ungünstigsten Umgebungsbedingungen geeignet ist, die wahrscheinlich während des Betriebs auftreten. Beispielsweise wird bei beweglichen Installationen eine Kabelart verwendet, die zum Biegen geeignet ist; bei Installationen mit höheren Temperaturen wird eine Kabelart mit einer hohen Temperatúrauslegung verwendet.

Bei den Überlegungen zu den Annahmeveraussetzungen von Kabeln wird auf die Industrienormen Bezug genommen, in denen zulässige Prüfverfahren für Kabel für Luftfahrzeuge festgelegt sind (z. B. EN 3475/EN 3745 oder alternative Herstellernormen).

Für Leitungen in Systemen wie z. B. Branderkennung, Löschung, Kraftstoffabschaltung und Fly-by-Wire-Flugsteuerung, die auch während und nach einem Brand funktionieren müssen, sind aus Kabelarten auszuwählen, die so qualifiziert sind, dass ein Funktionserhalt im Brandfall für die festgelegte Dauer gegeben ist.

Zusätzlich zu der erforderlichen Anforderung bezüglich der Nichtentflammbarkeit nach EN 3475-407 (Prüfung der Selbstlöschung) sind bei der Auswahl von elektrischen und optischen Leitungen die in Bezug auf die jeweilige Installation und Anwendung bekannten Eigenschaften zu berücksichtigen, um das Risiko von Beschädigungen von Leitungen einschließlich Lichtbogenbildung auf ein Mindestmaß zu verringern.

Für den Einsatz in druckbelüfteten Bereichen müssen die Eigenschaften der Isolierung hinsichtlich Rauchbildung und Giftigkeit berücksichtigt werden.

Die Leitung ist so zu wählen, dass die höchste Bemessungstemperatur bei keiner Kombination aus elektrischer Belastung, Umgebungstemperatur und den wärmetechnischen Auswirkungen der Bündel, Elektroinstallationsrohre oder anderen Umhüllungen überschritten wird. Typische, bei der Auswahl zu berücksichtigende Faktoren sind Spannung, Stromstärke, Umgebungstemperatur, mechanische Festigkeit, Abrieb, Anforderungen zu Biegefestigkeit und Druckhöhe sowie extreme Umgebungen wie hohen Belastungen durch Wind und Feuchtigkeit ausgesetzte Bereiche des Flugwerks (SWAMP-Bereiche) oder Bereiche, die signifikanten Feuchtigkeitskonzentrationen ausgesetzt sind.

Im gleichen Bündel installierte unterschiedliche Kabelarten sollten der Belastung durch gegenseitigen Abrieb standhalten können, der sie ausgesetzt werden. Die Mischung der Arten der Isolierwerkstoffe in den Leitungsbündeln sollte berücksichtigt werden, insbesondere bei einer Kombination aus harten und weichen Arten und dann, wenn eine Relativbewegung der Kabel möglich ist. Eine derartige relative Bewegung zwischen unterschiedlichen Arten der Kabelisolierung könnte zu beschleunigtem Abrieb und in Folge zum Ausfall der Leitung führen.

Der Kennzeichnungsprozess, mit dem eine „Funktionskennnummer“ hinzugefügt wird, muss die Dicke und die Weiterreißfestigkeit der Isolierung oder des Außenmantels berücksichtigen. Das zum Aufbringen der Markierung auf der Isolierung oder den Außenmantel darf zu keiner Beeinträchtigung der Isolierung oder des Außenmantels führen. Die Kennzeichnung von Kabeln durch Kabelkennzeichnungsverfahren mithilfe von Heißprägung ist nicht gestattet.

6.3.2 Kabelart

Die Art des verwendeten elektrischen und optischen Kabels sollte die Anforderungen der einschlägigen ISO-Normen- oder der europäischen Normenreihe für die Luft- und Raumfahrt oder jeder anderen Luft- und Raumfahrtnorm erfüllen, die von der Entwicklungsstelle für Luft- und Raumfahrzeuge als zulässig angesehen wird.

Die Art des ausgewählten Kabels richtet sich nach der Anwendung. Zu bestehenden Europäischen Normen siehe Anhang B, Abschnitt B.2.

Kabelabschlüsse in Geräten, die eine umgebungsbeständige Abdichtung erfordern, müssen über Mantelwerkstoffe verfügen, die mit dem Dichtungsmerkmal des Geräts kompatibel sind. Wenn der Außendurchmesser des Kabels kleiner ist als der zulässige Mindestdurchmesser des Dichtungsmerkmals, muss eine Ummantelung nach EN 4530, EN 4708 oder ähnlichen Verfahren gewählt werden, um eine wirksame umgebungsfeste Abdichtung des Geräts sicherzustellen.

Je nach Anwendung müssen die verschiedenen Kabelarten wie in 6.3.6 bis 6.3.12 beschrieben beschaffen sein.

6.3.3 Elektrische Kabel

6.3.3.1 Leiter

6.3.3.1.1 Allgemeines

Bei Gerätekabeln müssen die Leiter aus Kupfer sein, einschließlich Größe 002 (24 AWG) und kleiner.

Die Leiter von Flugwerkleitungen müssen aus Kupfer oder vernickeltem kupferbeschichtetem Aluminium bestehen. Größen 002 (24 AWG) und kleinere Größe müssen in hochfestem Aluminium oder verstärkter Bauweise ausgeführt sein.

Die Leiter von Zuführungsleitungen müssen aus Kupfer, Aluminium oder kupferumhülltem Aluminium bestehen.

Alle anwendbaren Größen der z. B. in EN 2346 enthaltenen Leiter von feuerfesten und feuerbeständigen Leitungen müssen Leiter aus Kupferlegierung mit Nickelbeschichtung bestehen.

Die Konstruktion von Leitern aus Kupfer und Kupferlegierungen muss den Anforderungen nach EN 2083 oder EN 4434 entsprechen.

Die Konstruktion von Leitern aus Aluminium muss den Anforderungen nach EN 3719 entsprechen.

Die Konstruktion von Leitern aus kupferbeschichtetem Aluminium muss den Anforderungen nach EN 4651 entsprechen.

Leiter aus Aluminium und kupferumhülltem Aluminium benötigen spezielle Verbindungsmittel. Kleinere Größen sollten bei hoher Schwingungsbelastung begrenzt verwendet werden. Aluminium ist weniger biegsam und hat im Vergleich zu Kupfer eine geringere Wechselbiegefestigkeit.

Aluminiumkabel mit kleinem Durchmesser dürfen nicht an am Triebwerk befestigtem Zubehör angebracht oder in anderen Bereichen installiert werden, in denen Schwingungen oder Biegung auftreten.

Aluminiumkabel dürfen normalerweise nicht verwendet werden, wenn der Verlauf weniger als 1 m beträgt oder in Bereichen, in denen korrosive Dämpfe vorhanden sein können.

Die mechanische Festigkeit von Aluminiumleitern wird verringert, wenn sie Temperaturen über 180 °C ausgesetzt sind, und die Verwendung kleinerer Größen über dieser Temperatur wird nicht empfohlen.

6.3.3.1.2 Leiterbeschichtungen

Es werden verschiedene Beschichtungen auf den Leitern verwendet, um die Korrosionsbeständigkeit, Temperatureinsparung und den elektrischen Widerstand der Abschlüsse zu verbessern.

Die Beschichtungen selbst beschränken die Betriebstemperatur des Leiters, aber obwohl diese maximalen Dauerbetriebstemperaturen nachstehend angegeben sind, muss davon ausgegangen werden, dass sie noch weiter durch die Art des verwendeten Materials der Isolierung oder des Leiters eingeschränkt werden können.

Weißblech: Höchsttemperatur 150 °C; (Dauerstrombelastung). Die Lötbarkeit von Weißblech-Kupferleitern verschlechtert sich wesentlich 6 Monate bis zu einem Jahr nach der Herstellung, und das Weichlöten dieser Leiter sollte vermieden werden, es sei denn, es werden Minderungsprozesse verwendet (Nachverzinnen, Verwendung von aktiviertem Flussmittel usw.).

Silberbeschichtung: bei einer Dauertemperatur bis zu 200 °C darf diese Temperatur durch die Temperatureigenschaften der verwendeten Isolierwerkstoffe gemindert werden (siehe Einschränkungen bezüglich der Nähe von Ethylenglycol).

ANMERKUNG Verzinnte oder versilberte Kupferleiter verschlechtern sich, wenn sie einer Funktion ausgesetzt werden, die über ihre angegebene Dauerstrombelastung hinausgeht. Diese Beschichtungen werden bei militärischen Luftfahrzeugen für die allgemeine Verwendung und Leistungsanwendungen nicht bevorzugt.

a) Nickel: Dauerbetriebstemperatur bis zu 260 °C;

b) Nickelummantelung: bis 315 °C.

Unbeschichtete Leiter aus Aluminium oder Aluminiumlegierung dürfen bis 180 °C verwendet werden.

Versilbertes oder vernickeltes Aluminium oder kupferummantelte Aluminiumleiter dürfen bis 180 °C verwendet werden, da der Leiterwerkstoff dazu neigt, über dieser Temperatur an Zugfestigkeit zu verlieren. Aufgrund der Möglichkeit der Korrosion durch verschiedenartige Metalle (Anhang C) dürfen kupferbeschichtete Aluminiumleiter und Aluminiumleiter nur dann verwendet werden, wenn das Abschlussverfahren eine umgebungsfeste Abdichtung enthält.

6.3.3.2 Isolierstoffe

Die Isolierung elektrischer Leitungen muss der auslegungsgemäßen Anwendung angemessen sein und kann aus einer oder mehreren Lagen oder Beschichtungen bestehen. Für bestimmte Zwecke ist die Ergänzung mit einer besonderen Ummantelung erforderlich.

Isolierwerkstoffe müssen eine Lichtbogenfestigkeit haben, die dem Bestimmungszweck entspricht.

Das Dielektrikum ist der Teil des Isolierstoffs, der den Leiter umgibt und die wesentlichen elektrischen Eigenschaften der Leitungen bestimmt. Die Hülle ist integraler Bestandteil der Isolierung und wird als Schutzumhüllung über das ganze Kabel gezogen. Sie kann aus einem anderen Material als das Dielektrikum bestehen, um die mechanischen Eigenschaften oder die Feuchtigkeitsresistenz zu verbessern. Sie kann zur Kennzeichnung der Leitungen genutzt werden.

Bei einigen Kabelarten darf eher der begrenzende Faktor die Temperatureinsparung der Isolierung als der Leiterwerkstoff sein.

6.3.3.3 Abschirmung

Sofern nicht anders in der zutreffenden Produktnorm festgelegt, bieten geflochtene Abschirmungen im Normalfall eine Abdeckung von mindestens 85 %. Sofern nicht anders in der zutreffenden Produktnorm festgelegt, bieten spiralförmige Abschirmungen im Normalfall eine Abdeckung von mindestens 90 %.

Besondere Arten von Abschirmungen wie Doppelflechtung, Spezialband usw. können verwendet werden, um die erforderliche Übertragungsimpedanz (Z_t) der Oberfläche zu erhalten.

Als Beschichtungen der Abschirmung dürfen für geflochtene Abschirmungen Zinn, Silber und Nickel verwendet werden.

6.3.3.4 Ummantelung

Der Außenmantel elektrischer Leitungen muss der auslegungsgemäßen Anwendung angemessen sein und kann aus einem oder mehreren Werkstoffen bzw. einer oder mehreren Beschichtungen bestehen.

Der Mantel kann zur Vereinfachung der Kennzeichnung, als Schutz gegen mechanische Einflüsse und Umgebungseinflüsse, als elektrische Isolierung der Abschirmung oder zur Farbkodierung verwendet werden.

Kabelmäntel aus PVC (Polyvinylchlorid) sind für Neukonstruktionen oder Installationen absolut verboten.

Hybrid-Polyimid-Umhüllungen/Isolierwerkstoffe dürfen verwendet werden, wenn sie von der zuständigen Entwicklungsstelle genehmigt wurden.

6.3.4 Bemessungsspannung und Nennstrom

6.3.4.1 Bemessungsspannung

Bei Isolationssystemen, die für die Anwendung in der Luft- und Raumfahrtanwendungen verwendet werden, werden die meisten Prüfungen und Wechselstromanwendungen mit bis zu 115 V (Phase-Neutral, 400 Hz Wechselstrom und 28 V Gleichstrom) durchgeführt. Die Entwicklungsstelle ist für den Nachweis der Eignung dieses Kabels zur Anwendung in anderen elektrischen Systemkonfigurationen verantwortlich. In allen Fällen muss die Spannungsfestigkeit der Isolierung mindestens das Dreifache der Betriebsspannung betragen.

Die Bemessungsspannung muss die Auswirkungen von niedrigem Luftdruck berücksichtigen. Bei Spannungen über 300 V müssen auch die Koronaeffekte berücksichtigt werden.

Entwickler sollten auch anwendungsspezifische Faktoren wie Spitzenspannungen, transiente Schaltspannungen und andere Spannungsbedingungen berücksichtigen, insbesondere in Schaltkreisen, die an Blindlasten angeschlossen sind, die unter Last geschaltet werden dürfen. Diese dürfen erhöht werden, wenn Transistor-Schutzschalter als Schutzeinrichtung implementiert sind.

6.3.4.2 Nennströme

EN 2853 gibt Richtlinien für die Dauerstrombelastung in jeder elektrischen Leitung. Dies rechtfertigt jedoch nicht die Vernachlässigung sonstiger Anforderungen bei der Auswahl von Leitungen (siehe 7.5.2.4 Auswahl der Bemessungswerte).

Das Kabel sollte so bemessen sein, dass alle Leitungen, die Strom von einer Schaltkreis-Schutzeinrichtung verteilen, eine Kapazität haben, die unter allen Betriebsbedingungen mindestens gleich oder größer als die Nennleistung der Schutzeinrichtung ist. Stromzuführungskabel müssen für die Nennleistung der Stromquelle bemessen sein.

Hinsichtlich der Auswirkungen der Höhenlage (verringerte Kühlwirkung), der Umgebungstemperatur der Bündelung und der thermischen Isoliereigenschaften von Kabelschutzsystemen siehe AS50881, Leistungsminderungskurven.

6.3.5 Gerätekabel

Diese Kabel sind auf den Einsatz in Geräten oder in Bereichen ausgelegt, in denen sie vollständig vor mechanischen Einflüssen geschützt sind.

6.3.6 Luftfahrzeugleitung

Kupfer EN 2267, EN 2266, EN 2854, EN 2713, EN 2714, EN 4611 und EN 4612

Aluminium EN 4681, EN 4682

Diese Leitungen sind ausreichend robust, um die Anforderungen für die offene Verkabelung in Luftfahrzeugen und die Verkabelung nicht wesentlicher Systeme innerhalb von Motorräumen zu erfüllen.

Kabelgrößen kleiner als 002 (24 AWG) sind im Allgemeinen nicht für die Verwendung als Einzeladern ohne zusätzliche Unterstützung geeignet. Größe 002 (24 AWG) und kleinere Drähte sollten immer Steckverbinder aus hochfester Kupferlegierung sein.

6.3.7 Feuerfeste und feuerbeständige Leitungen

(EN 2346, EN 4608)

In brandgefährdeten Bereichen verlegte Leitungen, die der Branderkennung, Löschung und Kraftstoffabschaltung und Fly-by-Wire-Flugsteuerungssystemen dienen und auch während und nach einem Brand funktionieren müssen, sind aus Arten auszuwählen, die qualifiziert sind, dass ein Funktionserhalt im Brandfall für eine festgelegten Dauer nachgewiesen ist.

Die Verwendung von genormten Flugwerkleitungen mit zusätzlichem Schutz, der das gleiche Brandverhalten erreicht, darf in Betracht gezogen werden.

Diese Leitungen müssen immer von der Art „Flugwerkleitung“ sein, mit der zusätzlichen Anforderung, dass sie während eines Brandes bei verminderter Leistungsfähigkeit für die in ISO 2685 festgelegte Dauer weiter betrieben werden (feuerfest 15 min und feuerbeständig 5 min).

6.3.8 Koaxialkabel

(EN 4604)

Diese Kabel dienen zur Verbindung von Hochfrequenzkreisen. Es sind unterschiedliche Arten verfügbar, je nach Betriebsfrequenz des Schaltkreises, z. B. VHF, UHF usw.

6.3.9 Datenbuskabel

(EN 3375)

Datenbuskabel werden zur Verkabelung von Datenübertragungssystemen eingesetzt.

Sie können als Twinaxial- oder als Quadraxialkabel ausgeführt sein.

Spleiße an Datenbuskabeln sind in militärischen Luftfahrzeugen ohne ausdrückliche Genehmigung der Entwicklungsstelle und vorherige Zustimmung des Endanwenders nicht zulässig.

6.3.10 Thermoelement- oder Verlängerungskabel

(EN 4049)

Diese Kabel werden zur Verkabelung von Temperaturmesssystemen eingesetzt.

Für den Wechsel von Thermoelementkabel auf Kupfer sollten umgebungsfest abgedichtete Verbindungen verwendet werden. Gecrimpte Abschlüsse werden bevorzugt.

Es sollte darauf geachtet werden, dass sowohl der Umgebungstemperaturleiter als auch die Heißlötstellen des Innenleiters an jedem Verbindungspunkt dieselbe Umgebungstemperatur haben.

Splice an Kabeln für Thermoelemente sind in militärischen Luftfahrzeugen ohne ausdrückliche Genehmigung der Entwicklungsstelle und vorherige Zustimmung des Endanwenders nicht zulässig.

6.3.11 Lichtwellenleiter

6.3.11.1 Allgemeines

Lichtwellenleiter und optische Fasern haben eine Reihe von unterschiedlichen Übertragungsfähigkeiten und Vorteilen gegenüber elektrischer Verkabelung. Beispiele für Vorteile sind:

- a) Sicherheit. Optische Fasern sind passiv und führen keinen elektrischen Strom; sollte das Kabel beschädigt und der Kern freigelegt sein, besteht daher keine Gefahr eines Kurzschlusses, der einen Funken erzeugt, der explosive Gase oder Flüssigkeiten entzünden kann.
- b) Große Bandbreite. Höhere Datenübertragungsgeschwindigkeit als herkömmliche elektrische Systeme.
- c) Größe und Masse. Lichtwellenleiter sind typischerweise 70 % bis 80 % leichter als ihre Gegenstücke aus Kupfer.
- d) Lichtwellenleiter sind unbeeinflusst von äußeren Störungen, einschließlich elektromagnetischer Störstrahlung (EMI), sie emittieren auch keine Signale, die Störungen verursachen können. Deshalb können ohne jegliches Risiko von Nebensprechen neben Strom- und Signalkabeln verlegt werden.
- e) Signalverlust. Lichtwellenleiter haben sehr niedrige Dämpfungsraten, was eine zuverlässige Datenübertragung mit sehr niedrigen BIT-Raten ermöglicht.
- f) Sicherheit. Lichtwellenleiter strahlen kein Signal aus, da das optische Signal eine passive Lichtwelle ist, daher können sie nicht mit nicht-intrusiven Mitteln erreicht werden.

Bei den Überlegungen zu den Annahmeveraussetzungen für Kabel wird auf die Industrienormen, in denen zuverlässige Prüfverfahren für Leitungen für Luftfahrzeuge festgelegt sind, z. B. EN 3745, oder auf alternative Herstellernormen Bezug genommen.

6.3.11.2 Aufbau

Ein Lichtwellenleiter besteht aus einer optischen Faser mit zusätzlichen Schutzschichten. Dieser Abschnitt enthält Einzelheiten zum Aufbau von Lichtwellenleitern.

Lichtwellenleiter

Eine optische Faser besteht aus zwei Elementen:

- Kern. Das zentrale Element der optischen Faser, das das übertragene Licht trägt. Der Kern besteht üblicherweise aus Siliziumdioxid, dem während des Herstellungsprozesses Dotierstoffe hinzugefügt wurden, um seinen Brechungsindex über den von reinem Siliziumdioxid zu erhöhen.
- Mantel. Die Ummantelung umgibt den Kern und besteht typischerweise aus reinem Siliziumdioxid mit einem niedrigeren Brechungsindex als der Kern, um eine totale interne Reflexion zu ermöglichen.

Der Kern und die Ummantelung sind ein integraler Bestandteil einer optischen Faserkonstruktion, die erzeugt wird, wenn die Faser als ein festes Filament gezogen wird und physikalisch nicht voneinander getrennt werden kann.

Die Größe einer optischen Faser wird durch den Kerndurchmesser bestimmt, gefolgt vom Mantelaußendurchmesser in Mikron, z. B. 50 µm/125 µm.

6.3.11.2.1 Schutzschichten

Primär-Beschichtung/-Umhüllung

Die Primär-Beschichtung/-Umhüllung ist ein Material, das auf die optische Faser aufgebracht wird, um Schutz vor äußeren Stößen, Temperatureinflüssen und Feuchtigkeit zu bieten. Diese Beschichtung/Umhüllung kann eine Extrusion oder Umwicklung sein, die aus Silikon, Polyimid oder Hochtemperatur-Acrylaten besteht.

Sekundär-Beschichtung/Umhüllung

Eine extrudierte Sekundär-Beschichtung/-Umhüllung wird ebenfalls aufgebracht, um die optische Faser bei erhöhten Temperaturen zu schützen. Werkstoffe, die für diese Beschichtung/Umhüllung verwendet werden, sind typischerweise Werkstoffe wie Silikon, Acrylat oder herstellereigene Werkstoffe, die den festgelegten Qualifikationsanforderungen entsprechen.

Zugentlastungselement

Um die optische Faser vor Beanspruchungen in Längsrichtung und allen äußeren Beanspruchungen durch Biegung oder Kompression zu schützen, wird ein Zugentlastungselement geflochten oder auf die Sekundärschicht aufgebracht. Ein Zugentlastungselement kann aus einem Aramidgarn oder einem Gemisch aus Aramidgarn und Glasfaser hergestellt werden. Das Zugentlastungselement stellt auch einen Kopplungsmechanismus zwischen dem Lichtwellenleiter und dem faseroptischen Abschluss bereit, um zu verhindern, dass axiale Beanspruchungen direkt auf den faseroptischen Kern aufgebracht werden.

6.3.11.2.2 Außenmantel

Eine Fließpressung aus Fluorpolymer, die über dem Zugentlastungselement angebracht ist, um eine äußere Schutzbarriere gegen äußere Kräfte, z. B. Kratzen, Flüssigkeiten und Feuchtigkeit, bereitzustellen. Es ermöglicht auch das Anbringen einer Kennzeichnung des Kabels unter Verwendung eines Laserkennzeichnungsgeräts.

Der Außenmantel muss violett sein, um es als Lichtwellenleiter zu kennzeichnen. Der Werkstoff darf durchsichtig sein, um den Einschluss eines sichtbaren Kennzeichnungsbandes unter dem Außenmantel zu ermöglichen.

Heißprägung ist bei Lichtwellenleitern verboten.

6.3.11.2.3 Bandbreite und Übertragungsleistung

Lichtwellenleiter werden nach Größe, Bandbreite und Übertragungsleistung kategorisiert, wobei Kategorien für Mehrmoden- und Einmodenlichtwellenleiter festgelegt sind. Einzelheiten zu diesen Kategorien siehe ISO/IEC 11801 und BS EN 50173. Tabelle 2 enthält eine Zusammenfassung dieser Kategorien „OM*“ für mehrmodig und „OS*“ für einmodig.

Tabelle 2 — Bandbreite und Übertragungsleistung von optischen Leitungen

Faser-kategorie	Faser-größe μm	Mindestbandbreite MHz km		Dämpfung dB/km		Maximale Länge (1 GB)	Maximale Länge (10 GB)
		850 nm	1 300 nm	850 nm	1 300 nm	850 nm	1 300 nm
Mehrmodig		850 nm	1 300 nm	850 nm	1 300 nm	850 nm	1 300 nm
OM1	62,5/125	200	500	4 dB/km	2 dB/km	275 m	33 m
OM2	50/125 oder 62,5/125	500	500			550 m	82 m
OM3	50/125	1 500	500			550 m	300 m
OM4	50/125	3 500	500			550 m	550 m
Einmodig				1 310 nm	1 550 nm		
OS1	—	—	—	1 dB/km	1 dB/km		10 000

6.3.11.3 Besondere Anforderungen an die Installation

Wenn elektrische Leitungen und Lichtwellenleiter im gleichen Bündel verlegt werden, z. B. Hybridkabelbäume, sollte darauf geachtet werden, dass:

- die für die Außenmäntel verwendeten Werkstoffe von elektrischen Leitungen und Lichtwellenleitern kompatibel sind;
- durch die von den Stromversorgungskabeln erzeugte Wärme nicht die maximale Betriebstemperatur der Lichtwellenleiter überschritten wird;
- Biegeradien von gemischten oder hybriden Kabelbäumen müssen die vom Lichtwellenleiterhersteller zugelassenen Mindestwerte berücksichtigen.

Wenn diese Kriterien nicht erfüllt werden können, dann müssen die Lichtwellenleiter separat verlegt werden.

Splice an Lichtwellenleitern sind in militärischen Luftfahrzeugen ohne ausdrückliche Genehmigung der Entwicklungsstelle und Vorabgenehmigung durch den Endanwender nicht zulässig.

Zu bestehenden Normen siehe Anhang B, B.2.

6.3.12 Spezielle Kabelarten

Für verschiedene Anwendungen müssen verschiedene Kabelarten zu einer speziellen Baugruppe zusammengefasst werden. Bei der Qualifikation solcher Kabel müssen die Anforderungen in 5.12 erfüllt werden.

6.3.12.1 Panzer- und Elektrozündkabel

Wenn im Vertrag gefordert, müssen Panzer- und Elektrozündkabel und Leitungen als verdrehte Adernpaare verlegt und einzeln gekennzeichnet werden. Die Verwendung von roten Kabeln oder Kabeln mit rotem Streifen wird empfohlen. Elektrozünd- und Panzerkabel müssen abgeschirmt und so weit wie möglich über ihre gesamte Länge getrennt gehalten werden und müssen abgeschirmt und von anderen Verkabelungen von Schaltkreisen an Verbindungsstellen und Verbindungen getrennt gehalten werden.

Spleiße an Elektrozünd- und Panzerkabeln sind in militärischen Luftfahrzeugen ohne ausdrückliche Genehmigung der Entwicklungsstelle und vorherige Zustimmung des Endanwenders nicht zulässig.

6.3.12.2 Verkabelung der Kraftstoffsonde

Die Verkabelung der Kraftstoffsonde muss über ihre gesamte Länge so weit wie möglich von der Verkabelung des Stromversorgungssystems getrennt sein.

6.3.12.3 Signalverkabelung und Verkabelung weiterer empfindlicher Schaltkreise mit niedriger Leistung

Die Signalverkabelung und Verkabelung weiterer empfindlicher Schaltkreise mit niedriger Leistung müssen an Verbindungsstellen und Verbindungen von anderen Schaltungen getrennt gehalten werden.

6.3.12.4 Verkabelung von primären Elektrizitätsversorgungssystemen

Die Verkabelung von primären Elektrizitätsversorgungssystemen darf nicht mit der Verkabelung des Verteilerkreises gruppiert oder gebündelt werden. Die Verkabelung von zwei oder mehr Stromquellen darf sich nicht im selben Kabelbaum oder Bündel befinden, um zu verhindern, dass ein einzelner Fehler mehrere Stromquellen betrifft.

6.3.12.5 Andere spezielle Kabelarten

In Abhängigkeit von den Systemanforderungen müssen spezielle Kabelarten verwendet werden, sie müssen die Systemleistungen erfüllen und entsprechend ihrer Besonderheiten installiert werden.

Beispiel für Spezialkabel:

- rauscharmes Übertragungskabel (für Beschleunigungsaufnehmer);
- Filterkabel;
- Hyperfrequenz (für Kriegsführungssysteme).

6.4 Auswahl der Steckverbinder

6.4.1 Umgebung

Steckverbinder werden nach den Bedingungen der Umgebung klassifiziert, in der sie eingesetzt werden müssen; hierbei werden Werkstoffe, Beschichtung, Oberflächenbehandlung, die Art der Abdichtung usw. berücksichtigt.

6.4.2 Arten von Steckverbindern

Es stehen verschiedene Arten von Steckverbindern, rund und rechteckig, zur Verfügung. Sie können abgedichtet, nicht abgedichtet oder hermetisch sein (nur Buchse). Die ausgewählte Art und das Installationsverfahren müssen von der bestimmungsgemäßen Funktion und der Einbaulage abhängen und

sind den einschlägigen ISO-Normen oder den bestehenden EN-Normen für Luft- und Raumfahrt zu entnehmen, wo dies möglich ist. Zu bestehenden Europäischen Normen siehe Anhang B, B.4.

6.4.2.1 Runde Bauformen

Es stehen folgende Rundsteckverbinder in verschiedenen Formaten zur Verfügung:

- a) Anordnungen mit elektrischen Kontakten für Leistungs-, Signal-, Koaxial-, Twinaxial-, Triaxial-, Quadrax- und faseroptische Abschlüsse;
- b) verschiedene Kupplungseinrichtungen (Bajonett, Gewinde, Push-Pull, ...);
- c) hochwarmfest, Brandwand und feuerbeständig für Anwendung in Triebwerken;
- d) einkanalig: koaxial, twinaxial, triaxial und quadraxial;
- e) mehrkanalig: koaxial, twinaxial, triaxial und quadraxial;
- f) faseroptisch: einkanalig und mehrkanalig;
- g) Hybridsteckverbinder mit z. B. gemischten Leistungs-, Signalkontakten und Abschlüssen für Lichtwellenleiter.

6.4.2.2 Rechteckige Bauformen

Es stehen folgende verschiedene Arten von Rechtecksteckverbindern zur Verfügung:

- a) Anordnungen mit elektrischen Kontakten für Leistungs-, Signal-, Koaxial-, Triaxial- und Quadrax- sowie faseroptische Abschlüsse;
- b) Schrank und Konsole oder mit Kopplungseinrichtungen;
- c) modular, elektrisch und optisch;
- d) faseroptisch: einkanalig und mehrkanalig.

6.4.3 Aufbau

6.4.3.1 Gehäuse

6.4.3.1.1 Werkstoffe

Steckverbinder werden mit Gehäusen aus folgenden Werkstoffen hergestellt: Aluminiumlegierung, Flusstahl, rostfreier Stahl, Titan, Verbundkunststoffe oder Verbund-Metallhybride. All diese Werkstoffe dürfen mit einer Beschichtung oder mit einem anderen Oberflächenschutz versehen sein, der elektrisch leitend sein kann oder auch nicht.

Die bei der Auswahl der Werkstoffe und/oder Beschichtung beteiligten Faktoren müssen sein: Umgebungsbedingungen, elektrolytische Korrosion, Temperatur, Schwingung und die Anforderungen hinsichtlich elektromagnetischer Störstrahlung und elektromagnetischer Impulse (EMI-EMP). Es sollte darauf geachtet werden, dass die Kompatibilität der Werkstoffe mit passenden Komponenten und Strukturen sichergestellt ist, z. B. Flanschanschlussstücke. Beispielsweise dürfen mit Kadmium beschichtete Steckverbinder und Zubehör nicht verwendet werden, wenn sie mit Titankomponenten oder -strukturen in Kontakt kommen könnten.

6.4.3.1.2 Bauformen

Der freie Steckverbinder (Stecker) ist der Teil des Steckverbinders, der mit dem festen Steckverbinder (Buchse) verbunden wird.

Bei runden Steckverbindern können freie Steckverbinder mit den folgenden Befestigungskonfigurationen zur Verfügung stehen:

- Vierkantflansch;
- Mutterbefestigung;
- hermetische Lötverbindung;
- hermetischer Vierkantflansch;
- hermetische Mutterbefestigung.

Bei rechteckigen Steckverbindern hängen die Befestigungskonfigurationen mit der Art der Verwendung zusammen und sind in der jeweiligen Produktnorm festgelegt.

6.4.3.2 Einsätze

6.4.3.2.1 Konstruktion

Die Einsätze, die die männlichen und weiblichen Kontakte tragen, müssen aus geeigneten Werkstoffen bestehen und einen Querschnitt und Radius aufweisen, dass im normalen Betrieb keine Risse, Abplatzungen oder Brüche auftreten können. Der Einsatz für den Kontakt muss mechanisch im Gehäuse gehalten werden. Die mechanische Halterung des Kontakts muss in den Einsatz integriert sein.

Bei abgedichteten Steckverbindern muss die Vorderseite der Einsätze so beschaffen sein, dass bei Kopplung der Steckverbinder die Dichtheit sichergestellt ist. Die Durchführungsichtung muss für alle in der Produktnorm angegebenen Leitungsdurchmesser geeignet sein.

Einsätze mit Vertiefungen für herausnehmbare Kontakte müssen mit Standardwerkzeugen entsprechend der zugehörigen Steckverbindernorm verwendet werden, unabhängig vom Kontakthaltesystem, z. B. Metall- oder Kunststoffklammer.

6.4.3.2.2 Werkstoff

Die für Einsätze, Dichtungen und Durchführungsichtungen verwendeten Werkstoffe müssen eine Härte sowie mechanische und elektrische Eigenschaften aufweisen, die der erforderlichen Umgebung und Verwendung entsprechen.

6.4.3.3 Polarisierung der Steckverbinder

Es müssen Vorkehrungen gegen eine falsche Verbindung von Steckern und Buchsen getroffen werden.

Steckverbinder müssen polarisiert sein, um die falsche Verbindung von Steckverbindern mit Gehäusen gleicher Größe auszuschließen.

Eine mechanische Polarisierung mit Passfedern oder Keilnuten wird bevorzugt. Bei runden Steckverbindern wird eine Polarisierung durch die Position des Einsatzes nicht empfohlen.

Rechteckige Steckverbinder sind mithilfe ihrer Gehäuse und/oder eines Systems von Kodierstiften zu polarisieren.

Flugwerk-Steckverbinder müssen, wenn sie mit der Achse in horizontaler Richtung installiert werden, so positioniert werden, dass sich die Hauptkeilnut an der Oberseite befindet. Wenn die Achse des Steckverbinders vertikal verläuft, muss die Hauptkeilnut an der Vorderseite des Luftfahrzeugs positioniert werden. Sowohl der freie als auch der feste Steckverbinder müssen für das Einkuppeln und die Ausrichtung des (der) Polarisierungsschlüssel(s) sichtbar sein.

6.4.4 Elektrische Kontakte

Kontakte dürfen feste Bauformen sein (bei hermetischen Steckverbindern immer) oder aus dem Einsatz herausnehmbar. Herausnehmbare Kontakte können entweder rückseitig oder vorderseitig zu entriegeln sein. Bei Neukonstruktionen ist eine rückseitige Entriegelung vorzuziehen. Kontakten nach EN 3155 ist der Vorzug zu geben.

Rückseitig ausbaubare Kontakte in Crimppausführung werden bevorzugt.

6.4.4.1 Auswahl und Anwendung von Steckverbindern

Außer bei hermetischen Steckverbindern, die nur Stiftkontakte haben, muss das Auslegung der Steckverbinder so sein, dass die Kontakte auf der unter strom- oder spannungführenden Seite einer Verbindung eher buchsenartig als stiftartig sind, um die Gefährdungen von Personen auf ein Mindestmaß zu verringern. Umgebungsbeständige Steckverbinder müssen eine Stirnflächendichtung und Dichtungsmechanismen an den Kabeleintrittsöffnungen haben. Das Vergießen von Kabeleintrittsöffnungen ist möglich, wenn eine Durchführungsichtung nach Vereinbarung mit der zuständigen Entwicklungsstelle nicht angebracht ist.

Auf sämtliche Innenflächen oder Kontakte von Steckverbindern sollten keine Korrosionsschutzmittel aufgetragen werden. Das äußerliche Auftragen von Korrosionsschutzmitteln ist auf allen Steckverbindern verboten, die Abschlüsse für Lichtwellenleiter oder Koaxialkontakte enthalten.

Steckverbinder, die Crimpkontakte enthalten, müssen unverdrahtete Vertiefungen haben, die mit den gelieferten Kontakten versehen sind. Wenn die Steckverbinder umgebungsbeständig sind, muss die Rückseite aller nicht verwendeten Vertiefungen mit Verschluss-Stopfen versehen werden. Bei Steckverbindern, die möglicherweise unbenutzte Abschlüsse für Lichtwellenleiter enthalten, sollte darauf geachtet werden, dass die Verschluss-Stopfen keine Federmechanismen beeinträchtigen. Nicht verwendete Koaxial-, Twinax- oder Triaxial-Kontakte dürfen durch Dummy-Kontakte ausgetauscht werden. Steckverbinder für Brandschotten dürfen keine unverdrahteten Vertiefungen enthalten, alle nicht verwendeten Vertiefungen müssen mit Verschluss-Stopfen und Originalkontakten versehen werden oder mit Blindleitungsbaugruppen zu verdrahtet werden.

Einige Steckverbinder und Zubehör haben Drehmomentwerte, diese müssen mithilfe der empfohlenen Werkzeuge und Verfahren eingehalten werden.

Wenn Steckverbinder nicht verwendet werden, müssen die jeweiligen zusammengehörigen Hälften durch die Verwendung von für bestimmte Zwecke entwickelten Schutzabdeckungen, Blinddosen usw. geschützt werden. Staubschutzkappen aus Kunststoff, die beim Zusammenbau oder vor der Installation in ein Luftfahrzeug verwendet werden, dürfen nicht verwendet werden, es sei denn, sie sind für bestimmte Zwecke entwickelt und umfassen ein Befestigungsverfahren.

Bewährte Verfahren müssen eine Anzahl an freien Ersatzstiften berücksichtigen, die Folgendes ermöglichen:

- ein Wachstumspotenzial im Falle einer Systementwicklung;
- Reparaturen;
- Kundeninstallation.

6.4.5 Abschlüsse für Lichtwellenleiter

6.4.5.1 Abschlüsse für Lichtwellenleiter müssen herausnehmbar und mit Passfedern versehen sein, um eine Drehung des Kontakts im Steckverbindergehäuse zu vermeiden und eine geringe Einfügungsdämpfung (IL, en: insertion loss) zu erhalten. Die Gestaltung des Abschlusses muss einen Federmechanismus umfassen, der auf die gekoppelten Kontakte eine Kraft ausübt, die ausreicht, um den physischen Kontakt aufrechtzuerhalten und eine Trennung der Abschlüsse durch Schwingungen und Stöße zu verhindern. Bei Steckverbinder mit unbestückten Vertiefungen für Abschlüsse für Lichtwellenleiter-Stiftkontakten, deren gekoppelte Steckverbinder über eingebaute Zentrierhülsenhalter verfügen, müssen spezielle Verschluss-Stopfen mit einem kürzeren Stift verwendet werden, um eine Beschädigung der gekoppelten Abschlüsse oder Verschluss-Stopfen zu vermeiden, die nicht über die Vorderseite des Steckverbinders hinausragen. Der Verschluss-Stopfen muss auch so konstruiert sein, dass er einen Stutzen enthält, der sich von der Rückseite des Steckverbinderereinsatzes erstreckt, um eine Abdichtung gegen die Umgebung zu ermöglichen und eine Anzeige bereitzustellen, dass ein Verschluss-Stopfen installiert ist.

6.4.5.2 Zur Handhabung/Verwendung und Reinigung von Lichtwellenleitern siehe Handbuch EN 4533.

6.4.6 Endgehäuse

Es muss eine Reihe an Endgehäusen zur Verfügung stehen, um das Kabel zu halten, gegen die Umgebung abzudichten, die Durchgängigkeit der Abschirmung zum Schutz von EMI-EMP sicherzustellen usw. (EN 3660). Zubehör für LWL-Steckverbinder muss in der Lage sein, einen Klemmmechanismus bereitzustellen, der keine übermäßigen Belastungen auf den Lichtwellenleiter ausübt und, wenn die Federkonstruktion des Abschlusses eine Hin- und Her-Bewegung des Kabels zulässt, diese Bewegung nicht verhindert.

6.4.7 Bemessungsspannung von Steckverbindern

Als Orientierung bei der Beurteilung der Eignung eines bestimmten Steckverbinders sollten Entwickler berücksichtigen, dass die Bemessungsspannung eines Steckverbinders ein Drittel der geringsten dielektrischen Durchschlagsspannung beträgt, die für Kontakte zum Kontakt und/oder Kontakte zum Gehäuse festgelegt ist, sofern in der Produktspezifikation nicht anders festgelegt. Anwender sollten sich auch dessen bewusst sein, dass diese Fähigkeit in Höhenlage wesentlich verringert ist oder wenn der Flug mit wahrscheinlich unter Spannung stehendem Steckverbinder stattfindet, dieser sich aber im ungekuppelten Zustand befindet.

Entwickler sollten auch anwendungsspezifische Faktoren wie Spitzenspannungen, transiente Schaltspannungen und andere Spannungsbedingungen berücksichtigen, insbesondere in Schaltkreisen, die an Blindlasten angeschlossen sind, die unter Last geschaltet werden dürfen. Diese dürfen erhöht werden, wenn Transistor-Schutzschalter als Schutzeinrichtung implementiert sind.

Ausgewählte Steckverbinder müssen für den Dauerbetrieb unter der maximalen Kombination aus Umgebungstemperatur und Stromlast des Stromkreises bemessen sein. Hermetische Steckverbinder und Steckverbinder, die in Schaltungsanwendungen mit hohen Einschaltströmen verwendet werden, sollten verringert werden. Es gehört zur guten technischen Praxis, Vorprüfungen in allen Situationen durchzuführen, in denen der Steckverbinder mit den meisten oder allen Kontakten bei maximaler Nennstromlast betrieben werden muss. Wenn die Verkabelung mit einer hohen Leitertemperatur nahe dessen Bemessungstemperatur betrieben wird, sollten die Kontaktgrößen der Steckverbinder entsprechend der Stromkreislast bemessen sein. Dazu kann es erforderlich sein, die Kabelgröße zu erhöhen. Es ist eine Spannungsminderung erforderlich, wenn Steckverbinder in großer Höhenlage in drucklosen Bereichen verwendet werden.

6.5 Auswahl der Schutzeinrichtungen für Schaltkreise

6.5.1 Arten von Schutzeinrichtungen

Schutzeinrichtungen für Schaltkreise müssen die Anforderungen der entsprechenden Luft- und Raumfahrtnorm erfüllen, z. B. eine EN-Norm. Sie müssen von Kurzschluss, Kriechwegbildung und anderen elektrischen Phänomenen schützen.

Die Art der Schutzeinrichtung hängt von der Anwendung und besonders von der Architektur der elektrischen Verteilung und den Netzwerkmerkmalen ab.

In 6.5.3 bis 6.5.9 werden verschiedene Arten von Schutzeinrichtungen beschrieben.

Zu bestehenden Europäischen Normen siehe Anhang B, B.5.

6.5.2 Elektrische Schutzeinrichtungen

6.5.2.1 Allgemeines

- a) Elektrische Leitungen müssen durch entsprechende Schaltkreis-Schutzeinrichtungen vor Überlastung und Überhitzung geschützt werden.
- b) Zweck der Schaltkreis-Schutzeinrichtungen ist der Schutz der EWIS und nicht der Geräte, die über einen separaten Schutz verfügen müssen.
- c) Bei Auswahl einer Schutzeinrichtung müssen die Auslastung und der Schutz der Schaltkreise berücksichtigt werden, die diese Schutzeinrichtung speisen.
- d) Der Nennstrom der Schaltkreis-Schutzeinrichtungen ist so zu wählen, dass das EWIS-Element mit dem niedrigsten Nennwert geschützt ist.
- e) Der Nennstrom von Schaltkreis-Schutzeinrichtungen darf nicht erhöht werden, es sei denn, die vorstehend angegebenen Punkte wurden berücksichtigt.
- f) Es müssen geeignete Schutzeinrichtungen eingesetzt werden, z.B. Sicherheitsklammern, Verriegelungsklammern, um Schutzschalter und Störlichtbogenschutzschalter vor Fehlbetätigung zu schützen.

6.5.2.2 Wesentliche Merkmale von Schutzeinrichtungen

Schutzeinrichtungen sind unter Berücksichtigung der folgenden Punkte auszuwählen:

- a) Auslösezeit in Bezug auf die Stromstärke;

ANMERKUNG Von Auslösekurven werden Auslösezeiten $t = f(I, T_{amb})$ ausgegeben, wie in den Normen oder den einschlägigen Spezifikationen angegeben. Die Kurven geben einen Toleranzbereich an, den die Schutzeinrichtungen benötigen ist, um den Schaltkreis für alle möglichen Überstrom- und anwendbaren Umgebungstemperatursituationen zu öffnen.

- b) Kurzschlussstrom, direkt mit der Generatorleistung verbunden, die durch eine Schutzeinrichtung in der Leitung unterbrochen werden müssen (und nicht durch den Generatorschutz);
- c) Schwingungsfestigkeit unter Berücksichtigung der Bereiche, in denen sie installiert werden;
- d) Temperaturkompensation bezüglich der Umgebungstemperatur bei thermischen Schutzschaltern.

Außerdem:

- e) Alle verwendeten Schutzeinrichtungen müssen vom Typ „freiauslösend“ sein, so dass es keine Möglichkeit gibt, die Schutzeinrichtung zu überbrücken und die Überlast aufrechtzuerhalten.
- f) Alle Schutzeinrichtungen müssen eigensicher sein, so dass versteckte Mängel die erwartete Leistung nicht beeinträchtigen können.
- g) Bei Schutzschaltern und Störlichtbogenschutzschaltern muss eine Führungsnase vorhanden sein, die sich im Allgemeinen am oberen Teil der Einbauplate befindet.

6.5.2.3 Prinzip der Verträglichkeit zwischen Kabel und Schutzeinrichtung

Die Verträglichkeit von Kabel und Schutzeinrichtungen ist erreicht, wenn die Kabeltemperaturkurve, über die gesamte Zeitskala (Einschalt- und Dauerbetrieb) oberhalb der Schwellenkurve des Schutzschalters liegt, wie nachfolgend in Bild 1 dargestellt.

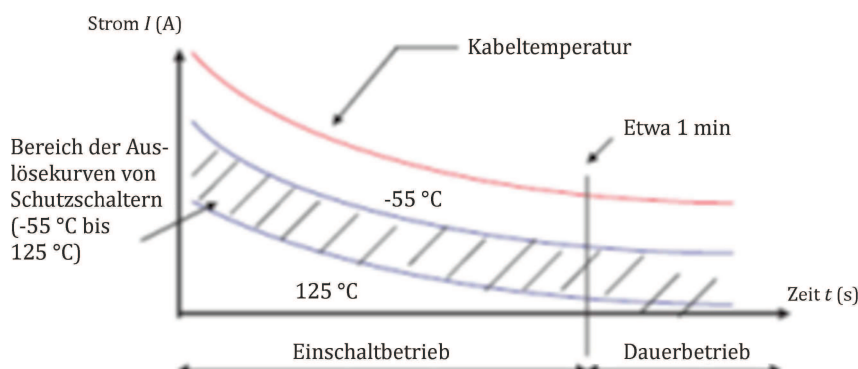


Bild 1 — Auslösekurven von Schutzschaltern

Die Kabeltemperaturkurve wird unter Anwendung der maximal möglichen Kabeltemperatur ohne Verschlechterung erhalten, z. B. 300 °C bei einem Hochtemperaturkabel oder 210 °C bei einem Aluminiumkabel.

6.5.2.4 Auswahl der Nennleistung

6.5.2.4.1 Allgemeiner Fall

Um ein vorzeitiges Auslösen der Schaltkreis-Schutzeinrichtung zu vermeiden wird empfohlen, einen Nennwert zu wählen, der über (beispielsweise zwischen 15 % und 20 % höher) dem Nennstrom liegt (Nennstrom definiert über Nennspannung, z. B. 115 V Wechselspannung oder 28 V Gleichspannung).

Durch Verwendung des niedrigsten für den im Kabel geführten Strom verträglichen Nennwerts (nicht für den maximal zulässigen Strom) müssen Kurzschlüsse schneller isoliert und die verursachten Beschädigungen begrenzt werden.

6.5.2.4.2 Sehr lange Leitungen und sehr schwache Spannungen

Es wird empfohlen zu prüfen, dass, wenn am Ende der Leitung kein Kurzschluss besteht, der ohmsche Widerstand des Schaltkreises den Strom nicht auf einen Wert begrenzt, der unter der Auslöseschwelle der Schutzeinrichtung liegt (ein häufiger Fall bei großen Luftfahrzeugen und Schaltkreisen mit niedriger Spannung).

Der Kurzschlussstrom berechnet sich wie folgt:

$$I_{cc} = V/R$$

I_{cc} : Kurzschlussstrom (A)

V : Spannung (V)

R : Gesamtleitungs-widerstand (Ω)

Der Widerstand je Meter bei 20 °C für jeden Leitungsquerschnitt wird in den einschlägigen Kabelnormen angegeben.

6.5.2.4.3 Schaltkreise, die einen hohen Anzugsstrom erfordern

Bei Systemen, die einen hohen Anzugsstrom benötigen (z. B. Starten eines Elektromotors bei blockiertem Läufer), müssen die Schutzeinrichtungen diese Stromspitzen akzeptieren.

In diesem Fall muss der jeweilige thermische Schutzschalter gegen Überlastung festgelegt werden, was zu einer Erhöhung des Kabelquerschnitts führen kann.

6.5.2.4.4 Schaltkreis, der einen Einschaltstoßstrom erfordert

Bei Systemen, die Einschaltstromstöße erfordern (Einschaltbetrieb mit Strömen, die für wenige Hundert Millisekunden über dem Nennstrom liegen), müssen die Schutzeinrichtungen diese Stromhöhen während dieser kurzen Zeitdauer zulassen.

In diesem Fall muss der jeweilige thermische Schutzschalter gegen Überlastung festgelegt werden, was zu einer Erhöhung des Kabelquerschnitts führen kann.

6.5.2.4.5 Grundsätze bei der Installation von thermischen Schutzschaltern

Ein thermischer Schutzschalter kann modellabhängig eine spezifische Achse aufweisen, die vibrationsempfindlich ist. Bei der Entwicklung sollte sichergestellt sein, dass der Schutzschalter während der Installation nicht in dieser Achse ausgerichtet ist.

6.5.2.4.6 Korrektur der Auslöseschwellen des thermischen Schutzschalters

Die Umgebungstemperatur hat einen Einfluss auf die Auslöse- und Nichtauslöseschwellen der Schutzschalter. Daher ist es erforderlich, die Temperaturkompensation der Auslöse- und Nichtauslösezeiten der Schutzschalter in Bezug auf die Umgebungstemperatur sicherzustellen, um jegliches vorzeitiges Auslösen der Schutzschalter zu verhindern. Die Mindest- und Höchstschwellenwerte dürfen anhand der Kurven in den für den jeweiligen Schutzschalter gültigen Normen bewertet werden.

6.5.2.4.7 Bestimmung der Kabel und Schutzeinrichtungen

Zur Sicherstellung der Verträglichkeit von Kabeln und Schutzeinrichtungen bei Geräten, die unter einer gegebenen Spannung mit einem gegebenen Strom betrieben werden, wird die Anwendung des nachstehenden Verfahrens empfohlen:

- 1) Es wird die am besten geeignete Bewertung der Schutzeinrichtung entsprechend dem Bedarf der versorgten Systeme ausgewählt:
 - Allgemeiner Fall: Es wird ein Nennwert gewählt, der zwischen 15 % und 20 % über dem zu führenden Nennstrom liegt.

- Einschaltstoßstrom, hoher Anzugsstrom oder mehrere Anzugsströme: Wenn erforderlich, muss die Schutzeinrichtung und das Kabel überdimensioniert werden, um ein verfrühtes Auslösen zu vermeiden.
- 2) Es wird ein Kabel geeigneter Größe mit einem zulässigen Temperaturanstieg gewählt, typischerweise höchstens 40 °C für ein Kabel allein (siehe EN 2853):
- Durch Überhitzung des Kabels (Joule-Effekt) und die Umgebungstemperatur in dem Bereich darf die maximale Betriebstemperatur des Kabels in keiner Durchgangsbetriebsart (Anzugsstrom usw.) überschritten werden.
 - Es muss auf eine sorgfältige Auswahl der Befestigungsvorrichtungen für den Kabelbaum geachtet werden.
- 3) Der Spannungsabfall über die Leitung wird untersucht, dieser muss mit Betriebsspannung des Geräts kompatibel sein:
- Wenn der Spannungsabfall zu groß ist, muss ein dickeres Kabel festgelegt werden (siehe EN 2282).
- 4) Es muss verifiziert werden, dass beim kleinsten möglichen Kurzschlussstrom ein Auslösen der Schutzeinrichtung möglich ist (bei Ausfall in der Nähe des Geräts). Siehe die Darstellung in Bild 2.

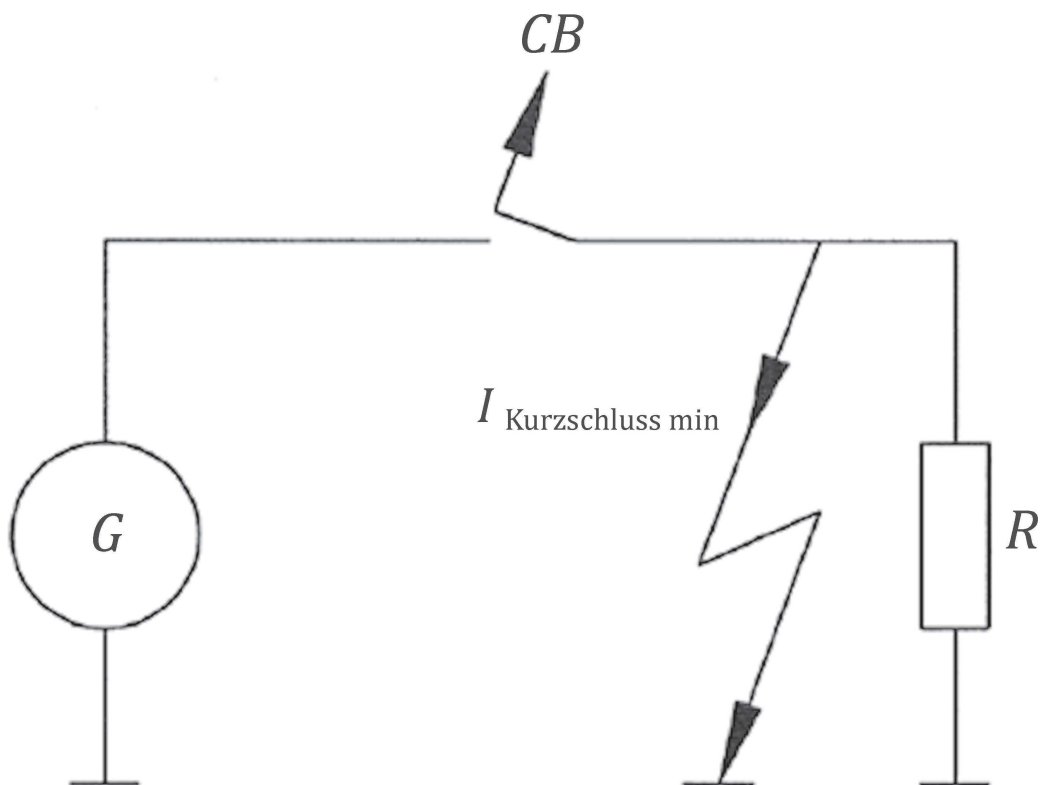


Bild 2 — Auslösen der Schutzeinrichtung bei Ausfall in der Nähe des Geräts

- 5) Bei serieller Verschaltung zweier Schutzeinrichtungen müssen diese über voneinander deutlich verschiedene Nennwerte verfügen um sicherzustellen, dass im Bedarfsfall der sich am nächsten zum betroffenen Gerät befindliche Schutzscharter zuerst auslöst.

- 6) Wenn in der Auslegung des Schaltkreises sowohl Aluminium- als auch Kupferkabel vorgesehen sind, ist es zwingend erforderlich, für jede Kabelart die richtige Spezifikation zwischen dem Leitungsquerschnitt und der Schutzeinrichtung für jede Kabelart einzeln zu prüfen.

6.5.3 Schutzschalter

Ein Schutzschalter (CB) ist ein mechanisches oder elektrisches Schaltgerät, das entwickelt wurde, einen elektrischen Stromkreis vor Beschädigungen zu schützen, die durch einen Störungszustand wie Überlastung oder Kurzschluss verursacht werden.

Die elektrische Trennfunktion kann durch die aufgrund des Joule-Effekts erhaltene Verformung eines kalibrierten Bimetallstreifens erzielt werden. (1. Joulesches Gesetz, Stromwärmegesetz) oder durch elektromagnetische (Solenoid-)Auslösung oder eine Kombination aus beidem.

Der Betrieb eines Schutzschalters ermöglicht normalerweise das Zurücksetzen des Geräts, sobald der Fehlerzustand identifiziert und behoben wurde.

Der Strombereich für die Luftfahrtverwendung liegt im Normalfall zwischen 3 A und 50 A.

6.5.4 Störlichtbogen-Stromunterbrecher

Ein Störlichtbogen-Stromunterbrecher (AFCI) ist eine im Allgemeinen in ein anderes Gerät integrierte Schaltung, die darauf ausgelegt ist, Überhitzung oder Brände zu verhindern, indem er unbeabsichtigte elektrische Lichtbögen (die nicht auf normale Schaltvorgänge, den Betrieb von Bürstenmotoren usw. zurückzuführen sind) erkennt und den Strom unterbricht. Die Elektronik in einem AFCI erkennt Stromstöße innerhalb weniger Millisekunden, lange bevor ein gewöhnlicher Schutzschalter oder eine Sicherung auslösen. Der AFCI ist darauf ausgelegt, zwischen normalen und anormalen Wellenformen des Stroms zu unterscheiden.

Zu den normalen Wellenformen zählen Einschaltstoßstrom, normale und elektronische sowie andere gewöhnliche Transienten,

Zu den anormalen Wellenformen zählen parallele Lichtbögen, durch Analyse erkannte Anzeichen von Beschädigungen an der Isolierung und serielle Störlichtbögen.

6.5.5 Störlichtbogenschutzschalter

In EN 4838. Ein Störlichtbogenschutzschalter (AFGB) ist ein Gerät, das die Funktionen eines Schutzschalters und eines Störlichtbogen-Stromunterbrechers miteinander verbindet.

Der Strombereich für die Luftfahrtverwendung liegt im Normalfall zwischen 3 A und 50 A.

6.5.6 Ferngesteuerter Schutzschalter

Ein ferngesteuerter Schutzschalter (RCCB) ist ein Gerät, das eine Schutzfunktion mit der Funktion eines Schützes verbindet. Optional kann auch eine Strommessfunktion implementiert werden.

Die Schutzfunktion wird über einen thermischen Schutzschalter bereitgestellt, bzw. in jüngerer Zeit über eine elektronische Analyse des Stroms, die bei Bedarf das Schütz auslöst. Das Schütz ist elektromechanisch.

Der Strombereich für die Luftfahrtverwendung liegt im Normalfall zwischen 30 A und 100 A.

RCCBs der nächsten Generation werden wahrscheinlich auch über eine AFCI-Funktion verfügen.

6.5.7 Transistor-Schutzschalter

Ein Transistor-Leistungsschalter (SSPC) ist ein Gerät, das eine Schutzfunktion mit der Funktion eines Schützes verbindet. Beide Funktionen sind elektronisch umgesetzt. Die Funktion als AFCI kann hinzugefügt werden.

Der Strombereich liegt im Normalfall zwischen 3 A und 15 A.

Wenn Halbleiterbauteile zum Schutz verwendet werden, dann müssen die Auswirkungen von erhöhten Schalttransienten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Im Vergleich zu Schutzschaltern sind SSPC genauer und weniger empfindlich gegenüber Temperaturschwankungen; genormte Geräte für Luftfahrzeuge stehen noch nicht zur Verfügung.

6.5.8 Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD, en: residual current device)

Eine RCD ist ein Gerät, mit dem eine Fehlerstrommessung durchgeführt wird und die dazu in der Lage ist, einen Fehlerstrom zu erkennen, der z. B. von einem Isolationsfehler verursacht wird, und die über eine zugehörige Funktion zur Unterbrechung des Fehlerstrom-Schutzschalters verfügen kann. Fehlerstrom-Schutzschalter mit Überstromschutz (RCBO) sind derzeit nicht für den Einsatz in Flugzeugen verfügbar.

Der Strombereich liegt im Normalfall zwischen 3 A und 15 A.

Nenn-Fehlerstrom von 0,03 A bis 0,5 A.

6.5.9 Sicherung

Eine Sicherung ist ein Gerät, das unter normalen Betriebsbedingungen Strom führen kann. Es ist darauf ausgelegt, bei Überschreitung des Bemessungswerts des Sicherungselements den Strom zu unterbrechen. Dieser Vorgang ist unumkehrbar, da das Sicherungselement reißt.

Der Strombereich liegt im Normalfall zwischen 0,5 A und 300 A.

6.6 Auswahl von Schaltgeräten

6.6.1 Art des Schaltgeräts

Es müssen Schaltgeräte verwendet werden, deren Arten die Anforderungen der einschlägigen ISO-Normen oder Europäischen Normen für die Luft- und Raumfahrt oder die Anwenderspezifikationen erfüllen.

Es gibt verschiedene Arten von Schaltgeräten, und ihr Einsatz ist von der zu erwartenden Anwendung abhängig. Zu bestehenden EN-Normen siehe Anhang B, B.6.

In 7.6.3 bis 7.6.7 werden die verschiedenen Arten von Schaltgeräten beschrieben.

6.6.2 Elektrisches Schalten

6.6.2.1 Allgemeines

a) Das Schaltvermögen ist auf Grundlage der nachstehenden Parameter über die verschiedenen Stromwerte definiert, die ein Schaltgerät erfolgreich trennen oder schließen kann:

- Versorgungsspannung;
- Anzahl der Betätigungen;

- Leistungsfaktor;
 - Zeitkonstante;
 - Einschaltstoßstrom;
 - Lastart (ohmsch, induktiv, Licht, kapazitiv, Motor usw.);
 - usw.
- b) In allen Produktnormen und Spezifikationen müssen die vorstehend angegebenen Werte quantifiziert werden, um die für die einzelnen Produkte einzuhaltenden Stromwerte zu spezifizieren.
- c) Bei den meisten Schaltgeräten mit mehreren Kontakten (oder Kontaktstufen) ist das gleichzeitige Schalten aller Kontakte nicht garantiert. Beispielsweise kann es bei einem Relais mit zwei Wechselkontakten vorkommen, dass ein Kontakt noch in der Ruhestellung ist, während sich der andere Kontakt bereits in Ruhestellung befindet und somit einen der Kontakte überlastet. Aus diesem Grund sollten parallele Schaltkontakte vermieden werden, die nicht einzeln voll bemessen sind.

6.6.2.2 Schalten von schwachen Strömen

Probleme können auftreten, wenn Schalter, die zum Schalten niedriger Ströme oder Spannungen verwendet werden, dann verwendet werden, um höhere Leistungspegel zu schalten. Kontakte, die für die Steuerung dieser kleinen Leistungsniveaus vorgesehen sind, können bei geschalteten ohmschen Leistungen über 60 mVA Gleichstrom beschädigt werden (Niveau abhängig vom Kontaktwerkstoff). Auf diese Weise verwendete Schalter können nicht mehr für Anwendungen mit geringer Leistung verwendet werden. Die folgenden Verfahren sind zu beachten:

Schaltgeräte dürfen ausschließlich für Niedrig- oder Hochleistungsanwendungen beschafft werden und dürfen nicht für andere Anwendungen ausgetauscht oder wiederverwendet werden.

Schwachstromschaltgeräte, bei denen der Verdacht besteht, dass sie Überstromsituationen ausgesetzt waren, müssen ausgetauscht werden.

- a) Wegen der Gefahr von Übersprechern zwischen Kontakten bei Schaltgeräten ohne Lichtbogenkammern ist der Einsatz benachbarter Kontakte im gleichen Produkt für das Schalten von $P < 60 \text{ mVA}$ und $P > 60 \text{ mVA}$ zu vermeiden.

6.6.2.3 Wesentliche Merkmale von Schaltgeräten

- a) In der aktuellen Praxis wird die Betriebssicherheit von Schaltgeräten anhand der Anzahl möglicher Ausfälle eine angegebene Zahl von Betätigungen (MCBF, en: Mean Cycle Between Failure) oder je Flugstunde (MTBF, en: Mean Time Between Failure) definiert. Besondere Aufmerksamkeit ist beim Einsatz nicht hermetisch abgedichteter Produkte geboten, da diese empfindlicher gegenüber Umweltschutzauflagen sind.
- b) Benachbarte Relais und Mikroschalter müssen mit der gleichen Spulenausrichtung installiert werden und Anforderungen an einen Mindestabstand müssen eingehalten werden, um Wechselwirkungen durch Magnetfelder und die Temperatur der Spulen zu vermeiden, die die Funktion beeinträchtigen können.
- c) Insbesondere ist auf die Schwingungsfestigkeiten zu achten, unter Berücksichtigung der Bereiche, in denen die Schalter installiert werden.

6.6.3 Stromunterbrecher

Reserviert.

6.6.4 Schalter

Reserviert.

6.6.5 Drucktaster

Reserviert.

6.6.6 Relais und Minischütze

6.6.6.1 Begriffe und Anforderungen

Ein monostabiles elektromechanisches Relais oder Minischütz besteht aus einem Elektromagneten (Spule, Luftspalt und Magnetschaltkreis), der bei einem oder mehreren Kontakten (im Normalfall 2, 3 oder 4) die Schaltvorgänge von der Ruhestellung „R“ in die Arbeitsstellung „T“ oder „W“ steuert. Diese Produkte werden normalerweise in abgefallenem Zustand mit spannungsfreier Spule dargestellt.

Diese Relaisart ist allgemein als „selbsthaltendes Relais“ erhältlich, bei dem es sich um ein bistabiles Relais handelt, das das Relais in seinem letzten Zustand hält, wenn die Stromversorgung ausgeschaltet wird, und als nicht selbsthaltendes Relais, das bei jeder entsprechenden Änderung des Zustands ein- (oder ausgeschaltet) wird.

Zeitverzögerungsrelais können selbsthaltend oder nicht selbsthaltend sein und sind mit voreingestellten oder programmierbaren Zeitverzögerungen erhältlich, die einen Zustand nach einer vorbestimmten Zeit einstellen oder aufheben können.

Zur Vermeidung von Fehlern müssen diese Produkte mechanisch polarisiert sein.

Halbleiterrelais sind auch für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt erhältlich. Bei diesen wird die Halbleitertechnologie angewendet; sie sind nicht auf die Spulenerregung und den Luftspalt angewiesen, um den Stromkreis herzustellen/zu unterbrechen. Diese Komponenten sind von keiner Kontaktverschlechterung oder Kontaktprellen betroffen, aber bei der Spezifikation dieser Komponenten muss darauf geachtet werden, dass ein angemessener Schutz vor potenziellen EMI/EMP-Auswirkungen vorhanden ist. Entwickler sollten auch die Ausfallarten derartiger Geräte und die Auswirkungen auf die Sicherheit berücksichtigen, wenn sie im geschlossenen Zustand versagen.

Um die Sicherheit des Personals sicherzustellen müssen, sämtliche dieser Geräte über die Trägerplatte geerdet werden.

6.6.6.2 Konfigurationsbeispiele

Es sind verschiedene Konfigurationen möglich, von denen einige in den folgenden Bildern als Beispiel für die Darstellung von Produkten mit spannungsfreier Spule dargestellt sind:

C = Mittelkontakt;

R = Ruhekontakt (auch NC = Normally Closed genannt);

T oder W = Arbeitskontakt (auch NO = Normally Open genannt).