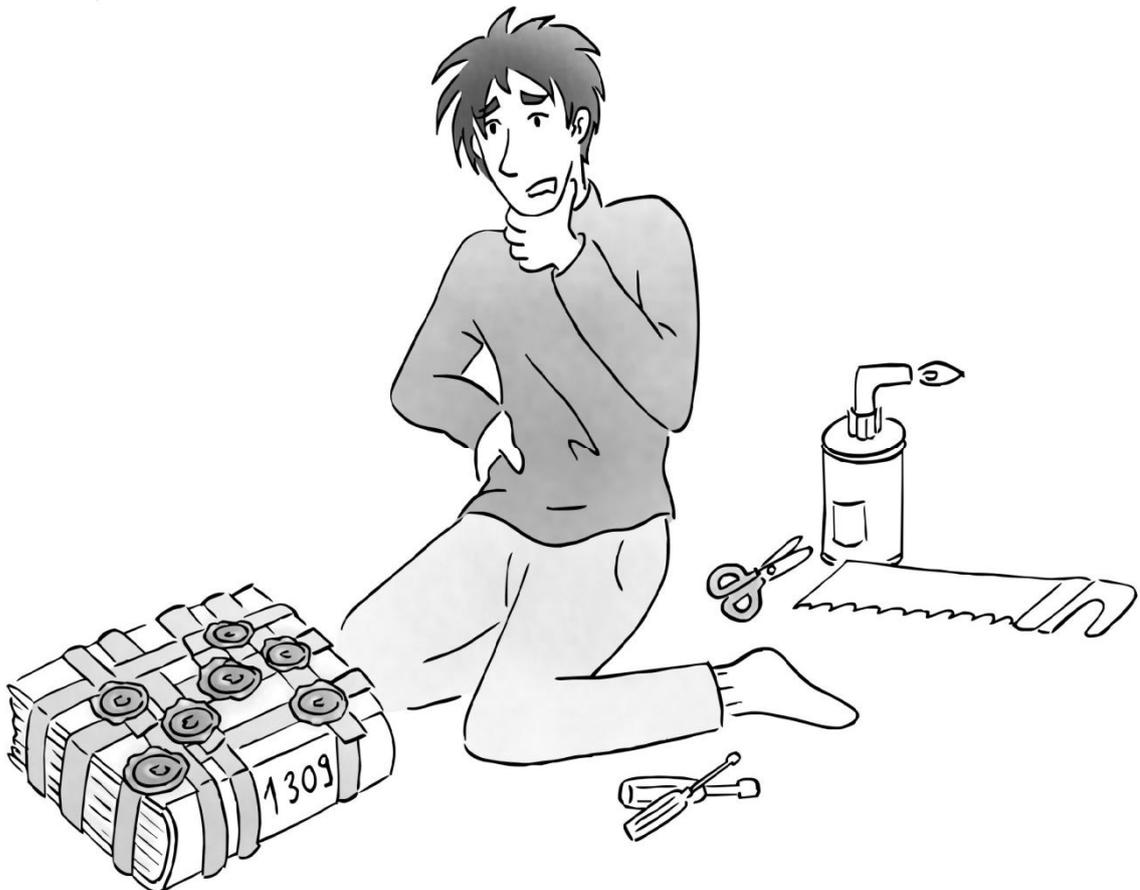


MERKBLATT 240.9

Prüfung und Zulassung von im Selbstbau hergestellten
Einzelstücken gemäß §3 LuftGerPV

Sicherheitsanalyse in Anlehnung an JAR/FAR/CS- 23/27.1309 für Avionik- und Instrumenteneinrichtungen (VFR/IFR)



Luftfahrt-Bundesamt	Hermann-Blenk-Strasse 26	38108 Braunschweig		
Referat T3	Nummer 240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 1

Inhalt

1	Zielgruppen	3
2	Grundprinzipien	3
3	Functional Hazard Assessment (FHA)	4
3.1	VFR am Tage	5
3.2	VFR in der Nacht	5
3.3	IFR	6
4	System Safety Assessment (SSA)	7
4.1	Sicherheitsziele	7
4.2	Nachweis der Sicherheitsziele	8
4.2.1	Geringe Gefährdung - Qualitative Betrachtung	8
4.2.2	Hohe Gefährdung - Quantitative Betrachtung	9
4.2.3	Kommunikation und Navigation	11
4.3	Nicht zugelassene Geräte	11
Anhang 1 – Sichtbedingungen für Nachtflüge		13
Anhang 2 – Abkürzungen		14

Vorbemerkungen:

Wird die Betriebsart des Luftfahrzeuges auf VFR am Tage begrenzt, ist aufgrund der geringen Gefährdung bedingt durch die Avionik- bzw. Instrumenteninstallation eine 1309-Betrachtung nicht erforderlich.

Wird ein Avionik- bzw. Instrumentensystem unter Verwendung eines EASA AML STC (Musterzulassung der EASA für den Geräteeinbau in eine Vielzahl von Flugzeugen/Hubschraubern) in ein Luftfahrzeug eingerüstet, welches in Bezug auf die betrachtete Installation technisch ähnlich mit mindestens einem der für die Änderung zugelassenen EASA Muster gemäß AML-Liste ist (Ähnlichkeitsanalyse vorlegen), kann die 1309-Betrachtung als bereits erledigt angesehen werden.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 2

1 Zielgruppen

Der §1309 in den Bauvorschriften JAR/FAR/CS-23/-27 hat eine sehr allgemeine, abstrakte und wenig anschauliche Struktur. Er wird daher von Vielen als große Hürde bei der Zulassung empfunden. Die folgenden Erläuterungen sollen das anschauliche Verständnis dessen, was mit dem §1309 gemeint ist, unterstützen und einen möglichst einfachen Weg für die Nachweisführung aufzeigen. Die hier vorgestellten Betrachtungen beschränken sich auf kleine (Platz für max. 4 Sitze) Flugzeuge und Hubschrauber. Die Bauvorschrift wird insbesondere für die Belange der Erbauer von Einzelstücken (Amateur-/Homebuilts) interpretiert. Zur besseren Verständlichkeit wurde hier darauf verzichtet, der Reihenfolge der Unterparagrafen des §1309 exakt zu folgen.

Zu weitergehenden Studien für sehr an dieser Thematik interessierte Personen wird das informative und weltweit (auch von EASA) anerkannte FAA AC-23.1309-1E (oder Nachfolgeversionen) empfohlen. Es kann kostenlos von der FAA Website heruntergeladen werden. Das ferner von der FAA erhältliche AC 27.1309 (Unterkapitel im AC 27-1B, Chg. 4, oder Nachfolgeversionen) enthält hubschrauberspezifische Hinweise, stellt jedoch höhere Anforderungen an die Sicherheitsziele als für Selbstbauprojekte erforderlich.

Der §1309 wurde für Betrachtungen an Systemen geschrieben, d.h. an pneumatischen, hydraulischen, mechanischen bzw. elektrischen Systemen sowie an deren Kombinationen. Strukturelemente (Tragwerk, Flugwerk, etc.), Triebwerke und Propeller sind ausdrücklich ausgeschlossen, da für sie fachspezifische Bauvorschriftparagrafen gelten. Elektronische Steuerungs- und Anzeigesysteme für moderne Triebwerke sowie elektrische Trimmanlagen werden jedoch von den §1309-Vorgaben erfasst. Die Trimmung wird zusammen mit dem Autopilot in einem weiteren Merkblatt betrachtet.

Der Übersicht halber soll hier eine weitere Einschränkung vorgenommen werden. Dieses Dokument beschränkt sich auf Avionik- und Instrumenteneinrüstungen für den Flugbetrieb nach Sichtflugregeln bei Tag oder Nacht bzw. nach Instrumentenflugregeln.

2 Grundprinzipien

Das wichtigste Grundprinzip des §1309 entstand aus einer Regel für das ganz gewöhnliche alltägliche Leben, die der „gesunde Menschenverstand“ bereits seit Jahrtausenden entwickelt hat:

Je schlimmer etwas (unserer Einschätzung nach) werden kann, umso weniger wollen wir hinnehmen, dass es passiert und umso mehr tun wir, um es zu verhindern.

So betreiben wir z.B. viel Aufwand um einen Gefahrenbereich mit tiefen Löchern und steilen Abhängen abzusperren. Für einen manchmal etwas rutschigen Weg hingegen reicht uns schon ein Warn- oder Verbotsschild.

Zur Analyse des oben beschriebenen Grundansatzes muss in zwei Hauptschritten vorgegangen werden:

- a) Im ersten Hauptschritt sind Funktionen zu identifizieren, deren Ausfall oder Fehlfunktion „schlimm werden“ könnten. Die zugehörige Methode heißt „Functional Hazard Assessment (FHA)“. Dabei werden Funktionen auf Flugzeugebene gesucht und deren technische Realisierung (Geräte und Verschaltung) zunächst bewusst ignoriert. Diese Funktionen sind dann aufzulisten und zu bewerten um einzuschätzen zu können, „wie schlimm“ deren Ausfall oder Fehlfunktion gemäß den vorliegenden allgemeinen Erfahrungen werden kann. Das folgende Kapitel 3 befasst sich mit dem FHA für Avionik- und Instrumenteneinrüstungen.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 3

- b) Der zweite Hauptschritt befasst sich dann mit der technischen Umsetzung der im ersten Hauptschritt identifizierten Funktionen. Für jede Funktion müssen die beteiligten Geräte nebst Installation und Verschaltung analysiert werden. Dazu gehören auch deren Versorgung z.B. mit Strom oder Vakuum und ggf. zugehörige Außensensoren, z.B. Antennen, Pitot/Static Ports, Temperatursensoren, etc. Das Verfahren heißt „System Safety Assessment (SSA)“. Das Ziel ist der Nachweis, dass die Wahrscheinlichkeit für Ausfall und Fehlfunktion einen der Gefährdung angemessenen Wert nicht überschreitet. Wie das geht und welche Vereinfachungen möglich sind, erläutert Kapitel 4.

Die klare Trennung dieser beiden Hauptschritte ist ein wesentlicher Punkt um dem eingangs in diesem Kapitel formulierten Grundprinzip zu folgen. Bei einer Vermischung der Hauptschritte wird die Analyse wertlos.

3 Functional Hazard Assessment (FHA)

Bevor Forderungen an die Zuverlässigkeit der verwendeten Komponenten gestellt werden, müssen die betroffenen Funktionen auf Flugzeugebene untersucht und deren Ausfall bzw. Fehlfunktion bewertet werden. Üblich sind fünf Gefährdungsstufen:

1	No Safety Effekt	NSE	Unerheblich, keine Gefährdung zu erwarten.
2	Minor	MIN	Geringfügige Reduzierung von Sicherheitsabständen; Mehrarbeit für die Besatzung, die jedoch ohne nennenswerte Probleme zu leisten ist (z.B. Standardverfahren für Systemausfälle); Komforteinschränkungen
3	Major	MAJ	Erhebliche Reduzierung von Sicherheitsabständen; Mehrarbeit für die Besatzung, die knapp an die Leistungsgrenze der handelnden Personen führt; leicht verletzte Personen; Sachschäden
4	Hazardous	HAZ	Drastische Reduzierung von Sicherheitsabständen bis zum Teilzusammenbruch der Sicherheitsarchitektur; Mehrarbeit für die Besatzung, welche die handelnden Personen teilweise überfordert; schwer verletzte Personen einschließlich maximal ein Todesopfer (nicht Flugbesatzung); erhebliche Sachschäden
5	Catastrophic	CAT	Totalverlust des Flugzeuges und Tod der meisten Passagiere und Besatzungsmitglieder.

Mit diesen Vorgaben kann nun eine allgemeine Sicherheitsanalyse– das sogenannte Functional Hazard Assessment (FHA) - des Flugzeuges durchgeführt werden. Dabei sind sowohl ein Totalausfall der Funktion („total loss of“) und *unentdeckbare* Fehlfunktion („misleading information“) zu betrachten. Eine im Rahmen der normalen Flugbetriebs-Verfahren von der Crew entdeckbare Fehlfunktion ist als Ausfall zu bewerten.

Einzelbetrachtungen für die im FAA AC 23.1309-1E genannten Fälle „Loss of primary...“ können für die Selbstbauer entfallen, da die zugehörigen Forderungen bei Erfüllung der unten genannten Fälle in der Regel automatisch miterfüllt sind.

Für typische Avionik- und Instrumenten-Installationen in kleinen Flugzeugen oder kleinen Hubschraubern lässt sich das Analysevolumen deutlich einschränken. Die unten stehenden Beispiele dienen der Orientierung an typischen Installationen. In Einzelfällen können Änderungen und/oder Ergänzungen nötig werden.

3.1 VFR am Tage

Keine Funktion ist höher als MIN zu bewerten. Aufgrund der geringen Gefährdung durch Avionik- oder Instrumentenausfälle/Fehlfunktionen kann für Selbstbauer die 1309-Betrachtung entfallen.

3.2 VFR in der Nacht

Die nachfolgende Einstufung der Gefährdung stützt sich auf Nachtflüge unter Sichtbedingungen ab, wie sie von der FAA durch folgende Limitation beschrieben werden:

Orientation during night VFR flight must be maintained by visual reference to ground objects illuminated solely by lights on the ground or adequate celestial illumination.

Note: Definitions for assessing the acceptability of lighting conditions for planning and execution of night VFR flights are given by chapter 13 of FAA Helicopter Flying Handbook (“Helicopter Night VFR Operations”, page 13-10).

Oder:

Die Orientierung während des VFR Nachtfluges muss durch Sichtkontakt zu Bodenobjekten aufrechterhalten werden, die allein von Lichtquellen am Boden oder von Himmelskörpern hinreichend beleuchtet werden.

Hinweis: Definitionen zur Bewertung und Akzeptanz von Beleuchtungsverhältnissen für die Planung und Durchführung von VFR Nachtflügen finden sich im Kapitel 13 des FAA Helicopter Flying Handbook (“Helicopter Night VFR Operations”, page 13-10).

Die oben genannte Limitation muss im Flughandbuch vermerkt werden. Soll darauf verzichtet werden, ist durch eine Einzelfallbetrachtung zu klären, ob der dann verallgemeinerte Nachtflug-Fall ggf. äquivalent zu IFR zu sehen ist.

Das o.g. FAA Dokument (kostenlos erhältlich auf der FAA Website, siehe auch Zusammenfassung im Anhang 1) handelt zwar von Hubschraubern, ist jedoch hier als allgemeingültig anzusehen, sofern die Betriebsarten des jeweiligen Luftfahrzeuges als passend bewertet werden können.

Die folgende Tabelle listet die mindestens zu betrachtenden Fehlfunktionen nebst den in der Regel gültigen Bewertungen auf. Wegen der Individualität eines jeden Selbstbauprojektes, kann es jedoch hier zu Abweichungen im Einzelfall kommen. Für die projektbezogen endgültige Funktions- und Fehlertabelle muss der Selbstbauer die Zustimmung der Luftfahrtbehörde einholen. Gleiches gilt auch für die im Unterkapitel 3.3 vorgestellte Tabelle.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 5

Bewertungen:

Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion aller Horizontanzeigen	MAJ
Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion aller Baro-Höhenanzeigen	MAJ
Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion aller Fahrtanzeigen, nur sofern das Luftfahrzeug dadurch in einen kritischen Flugzustand (z.B. Stall, Overspeed) geraten könnte und dessen Anbahnung nicht auf andere Weise rechtzeitig und leicht zur erkennen und zu verhindern ist, sonst MAJ oder MIN.	HAZ
Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion der Triebwerksinstrumentierung, nur sofern dieser zum Triebwerksausfall (auch Nicht-Steuerbarkeit) oder gefährlicher Leistungsminderung führen kann, sonst MIN oder NSE	MAJ
Ausfall oder unerkannte Fehlfunktion anderer als der oben genannten Avionik- und Instrumenten – Systeme	MIN(*)
Ausfall oder Fehlfunktion von Zusatzfunktionen für Missionszwecke, sofern sie andere Funktionen und die Flugbesatzung nicht beeinträchtigen.	NSE

(*): ggf. NSE sofern nicht für die Flugdurchführung benötigt und Fehlfunktionen leicht erkennbar

3.3 IFR

Zu beachten ist, dass man für Flugführung und Navigation vollständig auf Avionik und Instrumente angewiesen ist. Somit ergeben sich folgende Gefährdungseinschätzungen:

Bewertungen:

Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion aller Horizontanzeigen	CAT
Totalausfall aller Baro-Höhenanzeigen	HAZ
Unerkannte Fehlfunktion aller Baro-Höhenanzeigen	CAT
Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion aller Fahrtanzeigen, nur sofern das Luftfahrzeug dadurch in einen kritischen Flugzustand (z.B. Stall, Overspeed) geraten könnte und dessen Anbahnung nicht auf andere Weise rechtzeitig und leicht zur erkennen und zu verhindern ist, sonst MAJ.	HAZ
Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion aller Anzeigen für eine vollständige Primärnavigation	MAJ
Gleichzeitiger Totalausfall aller Navigations- und Kommunikationsfunktionen ohne die Möglichkeit, diese zumindest teilweise zeitnah wieder herstellen zu können.	HAZ
Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion der Triebwerksinstrumentierung, nur sofern dieser zum Triebwerksausfall (auch Nicht-Steuerbarkeit) oder gefährlicher Leistungsminderung führen kann, sonst MIN oder NSE	MAJ

(Fortsetzung siehe nächste Seite)

Bewertungen (Fortsetzung):

Ausfall oder unerkannte Fehlfunktion anderer als der oben genannten Avionik- und Instrumenten-Systeme	MIN(*)
Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion des Autopilotensystems, nur in Bodennähe, sonst MIN (siehe gesondertes Merkblatt)	MAJ
Ausfall oder Fehlfunktion von Zusatzfunktionen für Missionszwecke, sofern sie andere Funktionen und die Flugbesatzung nicht beeinträchtigen.	NSE

(*): ggf. NSE sofern nicht für die Flugdurchführung benötigt und Fehlfunktionen leicht erkennbar

4 System Safety Assessment (SSA)

Gemäß den unter 2. formulierten Grundprinzipien ist sicher zu stellen, dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Problem auftritt umso geringer ist je schlimmer sich das Problem auswirken kann. Das SSA untersucht Aufbau und Konstruktion im Detail und weist nach, dass die im nächsten Unterpunkt definierten Sicherheitsziele tatsächlich erreicht werden.

4.1 Sicherheitsziele

Allgemein akzeptierte Sicherheitsziele abhängig von der Gefährdungsstufe lassen sich aus dem FAA AC 23.1309-1E abschreiben. Die unten stehende Tabelle fasst die so zu definierenden Sicherheitsziele für kleine Luftfahrzeuge zusammen.

In modernen Systemen werden für die Umsetzung der Funktionen immer häufiger Komponenten verwendet, die „Software (SW)“ oder „Airborne Electronic Hardware (AEH)“ enthalten. Letztere Begrifflichkeit umfasst z.B. programmierbare Hardware wie PAL, GAL, FPGA, etc., nicht jedoch Standard-Elektronikbauteile, auch nicht „Standard-ICs aus dem Katalog“. Der Gerätehersteller sollte in seiner Spezifikation angeben, ob SW oder AEH enthalten ist.

Für SW und AEH gilt ein zusätzlicher Zuverlässigkeitsparameter, der „Development Assurance Level (DAL)“. Dieser wird mit den Buchstaben A (höchster) bis E (niedrigster) bezeichnet und ist ein Maß für Entwicklungsaufwand, Sorgfalt und Erprobungsvielfalt von SW oder AEH.

Der DAL kann den Angaben der Gerätehersteller entnommen werden. Geräte ohne SW oder AEH haben und benötigen keinen DAL. Geräten mit SW und/oder AEH jedoch ohne angegebenen DAL wird der DAL E zugeordnet.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 7

Gefährdungs-Stufe	Wahrscheinlichkeit für Ausfall bzw. Fehlfunktion		Mindest - DAL des Geräts oder Systems	
	quantitativ	qualitativ	Primär-System	Sekundär-System
NSE	---	---	---	---
MIN	$< 10^{-3}$	selten aber möglich (probable)	D	---
MAJ	$< 10^{-4}$	sehr gering (remote)	C	D
HAZ	$< 10^{-5}$	extrem gering (extremely remote)	C	D
CAT	$< 10^{-6}$ (*)	extrem unwahrscheinlich (extremely improbable) (*)	C	C

(*): Zusätzlich gilt, dass kein Einzelfehler (z.B. Ausfall eines einzelnen Systems) CAT sein darf („Single Failure Principle“).

Sekundärsystem: Mindestens ein vom Primärsystem vollständiges, unabhängiges und andersartiges (dissimilares) System, nur erforderlich, wenn Sicherheitsziele mit Einzelsystemen nicht erreicht werden können oder im obigen Fall (*).

4.2 Nachweis der Sicherheitsziele

Für die weiteren Untersuchungen benötigt man jetzt die Architektur der Systeme, welche die im vorherigen Kapitel aufgelisteten und bewerteten Funktionen im Flugzeug realisieren.

4.2.1 Geringe Gefährdung - Qualitative Betrachtung

Aus Gründen der Verhältnismäßigkeit akzeptieren Luftfahrtbehörden für Systeme der Gefährdungsstufen NSE, MIN oder MAJ eine qualitative Betrachtung (Assessment). Diese stellt die Erreichung der oben genannten Sicherheitsziele (Wahrscheinlichkeiten, DALs) als plausible Annahme dar. Auf eine genaue Berechnung z.B. mit Hilfe eines Fehlerbaums kann dabei verzichtet werden. Die qualitative Betrachtung untersucht ausgehend von der unter 1301(a) bereits durchgeführten Zulassungs- und Eignungsprüfung die Gesamtinstallation aller für eine Funktion benötigten Komponenten.

Handelt es sich um in zugelassenen Serienluftfahrzeugen bereits bewährte Komponenten? Wurden Sie nach luftfahrtüblichen Methoden installiert, z.B. gemäß FAA AC-43.13-1B/-2B sowie den Vorgaben der Geräte und Luftfahrzeughersteller?

Haben Geräte, die SW oder AEH enthalten, den richtigen DAL?

Sind schädliche Wechselwirkungen mit anderen Systemen durch die Installation selbst oder über elektromagnetische Unverträglichkeiten ausgeschlossen?

Diese und damit im Zusammenhang stehende Fragen müssen in der qualitativen Betrachtung untersucht und beantwortet werden. Alle Angaben müssen durch Referenzen belegt und ggf. durch Messungen unterstützt werden. Argumentationen wie: „...fliegt doch schon in xyz...“ sind nicht ausreichend. Die eigene Flugerprobung kann ergänzend hinzugenommen werden, reicht jedoch für sich alleine gesehen nicht als Nachweis aus.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 8

4.2.2 Hohe Gefährdung - Quantitative Betrachtung

Deutlich schwieriger wird die Untersuchung jedoch für Systeme, welche Funktionen abbilden, die mit HAZ oder CAT bewertet sind.

Eine qualitative Betrachtung wie oben beschrieben ist nur dann statthaft, wenn die analysierte Funktion vollständig durch solche Systeme realisiert wird, die als „simple and conventional“ einzustufen sind. Dies sind einfache elektrische, mechanische oder pneumatische Systeme, deren Bauart schon lange in der Luftfahrt bekannt und bewährt ist. Sie enthalten keine SW und keine AEH. Sehr simple Elektronik bildet einen Grenzfall, der in der Regel zu Gunsten des Antragstellers ausgelegt wird.

Für alle anderen meist komplexeren Systeme wie z.B. (partielle) Glascockpits muss **zusätzlich zu den qualitativen Analysen** eine Berechnung der Wahrscheinlichkeiten erfolgen. Dabei müssen alle an der Umsetzung einer Funktion beteiligten Komponenten berücksichtigt werden. Hierzu wird zumeist ein Fehlerbaum benutzt.

Zunächst müssen die Wahrscheinlichkeiten für alle im Fehlerbaum auftretenden Komponenten bestimmt werden. Idealerweise erhält man diese von den Geräteherstellern. Oft sind die Hersteller jedoch nicht bereit, diese Angaben bekannt zu geben, oder für sehr alte Bauteile liegen gar keine Angaben vor. Dann können die Zahlen aus allgemein anerkannter Standardliteratur entnommen werden. Ein bekanntes Standardwerk ist das MIL-HBK-217. Die Tabelle weiter unten stellt eine Reihe typischer Werte zusammen. Es kann bei den in der Tabelle aufgelisteten Standardkomponenten davon ausgegangen werden, dass Ausfall und Fehlfunktion näherungsweise gleiche Wahrscheinlichkeiten haben.

Für den Fall, dass einzelne Kreisel- oder Doseninstrumente durch elektronische ersetzt werden, die von der EASA für die gewünschte Betriebsart (in technisch ähnlichem Luftfahrzeug) zugelassen sind und für die keine Wahrscheinlichkeitsangaben vorliegen, können die entsprechenden Zahlen aus unten stehender Tabelle verwendet werden. Ferner kann angenommen werden, dass der DAL ausreichend ist. Es müssen jedoch sämtliche Nebenbedingungen der referenzierten EASA Zulassung beachtet werden.

Somit kann die Fehlerbaumanalyse durchgeführt werden. Für die Zwecke dieses Verfahrens reichen die im Internet auf diversen Sites vorgestellten Grundmethoden bereits aus. Es genügt, die in der obigen Tabelle angegebenen Zieldaten von der Größenordnung her zu erreichen.

Analysiert werden sollen zunächst die Fälle Totalausfall aller Horizontanzeigen bzw. Totalausfall aller Baro-Höhenanzeigen mit je einem Fehlerbaum.

Für die Stromversorgung kann der vereinfachte Gesamt-Ansatz aus unten stehender Tabelle verwendet werden, sofern konstruktiv („by Design“) sichergestellt ist, dass sich die Stromquellen nicht gegenseitig beeinflussen oder voneinander abhängig sind und die Verkabelung simpel und typisch für die betrachtete Luftfahrzeugart ist.

Ein Problem bei diesem vereinfachten Ansatz ergibt sich jedoch bei mit CAT bewerteten Funktionen, für die immer zusätzlich das „Single Failure Principle“ (siehe oben) gilt. Damit eine Fehlfunktion eines einzelnen Subsystems (z.B. der Stromversorgung) nicht zu einem CAT Ereignis führt, muss Unabhängigkeit und Unterschiedlichkeit nicht nur in den Primär- und Sekundär-Instrumenten selber (z.B. zwei unterschiedliche künstliche Horizonte) sondern auch in deren Versorgung gegeben sein. Daher wird z.B. oft ein künstlicher Horizont elektrisch und ein weiterer über eine motorgetriebene Vakuumpumpe angetrieben. Sind beide Horizontsysteme elektrisch, benötigt eines eine Zusatzbatterie mit ausreichender Leistung und Zuverlässigkeit.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 9

Komponente oder Komponentenkombination	Wahrscheinlichkeit
Es werden nur Komponenten mit Lufttüchtigkeitszulassung (einzeln oder mit einem Luftfahrzeug) oder Standardteile mit entsprechender Spezifikation betrachtet.	
Generator	$2,19 \cdot 10^{-6}$
Batterie	$1,95 \cdot 10^{-6}$
Relais	$6,75 \cdot 10^{-6}$
Schalter	$4,76 \cdot 10^{-6}$
Circuit Breaker	$1,76 \cdot 10^{-6}$
Sicherung	$5,71 \cdot 10^{-5}$
Verkabelung (*)	$1,00 \cdot 10^{-7}$
Pitotrohr Heizung	$7,61 \cdot 10^{-6}$
Vakuum Pumpe (motorgetrieben)	$1,55 \cdot 10^{-5}$
Einzel Kreiselinstrument (per Vakuum oder elektrisch angetrieben)	$5,00 \cdot 10^{-5}$
Einzel Aneroiddosensinstrument, einschließlich zugehörigem Pitot/Static System (*)	$5,00 \cdot 10^{-5}$
Standard-Stromversorgungssystem bestehend aus Generator, Batterie und Verkabelung (unabhängig), (*)	$1,00 \cdot 10^{-7}$

(*): sofern dimensioniert und installiert gemäß FAA AC 43.13-1B/-2B

In einem weiteren Schritt geht es um unentdeckte Falschanzeigen an Systemen, die mit CAT und HAZ bewertete Funktionen realisieren, also in der Regel weiterhin Horizont und Höhenanzeige. Meist liegen die Systeme für diese Funktionen doppelt und dissimilar vor. Eine Falschanzeige bleibt also nur dann unentdeckt, wenn ein System ausfällt UND das andere falsch anzeigt. Der Fall dass beide gleichzeitig unterschiedliche Fehlanzeigen aufweisen, kann vernachlässigt werden, da er erheblich unwahrscheinlicher ist, als der vorgenannte.

Entsprechend sind die vier Fehlerbäume (je zwei für Horizont und Höhe) aufzubauen. Für unentdeckte Falschanzeigen sind Faktoren wie die Stromversorgung in der Regel nicht von Belang.

Luftfahrt-Bundesamt	Hermann-Blenk-Strasse 26	38108 Braunschweig
Referat T3	Nummer 240.9	Ausgabe 1.0
		Februar 2018
		Seite 10

4.2.3 Kommunikation und Navigation

Ein weiterer Fall von grundsätzlich hoher Gefährdung ist der Totalausfall aller Kommunikations- und Navigationsfunktionen bei IFR ohne die Möglichkeit, diese Funktionen zumindest teilweise zeitnah wieder herstellen zu können. Dieser Fall kann gemäß der nach 4.2.2 (oben) beschriebenen Methode bearbeitet werden. Obwohl dieser Gesamtfall als HAZ eingestuft ist, muss eingeräumt werden, dass die Gefährdung nicht so unmittelbar eintritt wie z.B. bei der Horizont- oder Höhenanzeige. Außerdem lassen sich durch Hilfsmittel wie Handgeräte oder Zusatzausrüstungen für Missionszwecke hier meist gewisse Ausgleichsfaktoren schaffen. Aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahrzehnte hat sich daher auch eine vereinfachte Betrachtung als statthaft erwiesen:

Wie sich aus der Tabelle im Unterpunkt 3.3 entnehmen lässt, ist Totalausfall oder unerkannte Fehlfunktion aller Anzeigen der Primärnavigation (Sensoren, Anzeigen, etc.) als MAJ einzustufen und somit einer qualitativen Betrachtung zugänglich. Der Funkausfall ist bei den „anderen Avionik- und Instrumentensystemen“ (MIN) einzusortieren und kann demnach auch qualitativ analysiert werden.

Die hohe Gefährdung (HAZ) ergibt sich lediglich aus dem gleichzeitigen Zusammentreffen dieser beiden oben genannten Probleme. Wenn eine gründliche qualitative Analyse der verwendeten Komponenten (Primär- und Sekundärsysteme, redundant, dissimilar) und deren Installation (Unabhängigkeit) ergibt, dass das gleichzeitige Zusammentreffen dieser beiden Probleme konstruktionsbedingt („by Design“) eine extrem geringe Wahrscheinlichkeit hat, ist auch diese Betrachtung als Nachweis akzeptabel.

Der Vollständigkeit halber soll noch erwähnt werden, dass sich diese Betrachtungsweise NICHT auf andere mit CAT oder HAZ bewertete Fälle ausdehnen lässt.

4.3 Nicht zugelassene Geräte

In Selbstbauprojekten werden aus Kostengründen geme Geräte und Systeme (z.B. Glascockpits) eingesetzt, die keine Lufttüchtigkeitszulassung als Einzelgerät/System oder zusammen mit einem Flugzeug besitzen, siehe auch EASA Certification Memo CM-AS-007. Diese Geräte sind oft nur rudimentär spezifiziert und deren Hersteller behalten sich meist unangekündigte Spezifikationsänderungen vor.

In der Gefährdungsklasse NSE ist das kein Problem, sofern sichergestellt ist, dass andere Funktionen und die Flugbesatzung nicht beeinträchtigt werden.

Bei Bestehen der in oben genanntem EASA CM genannten grundsätzlichen technischen Randbedingungen kann diese Methode auch für mit MIN bewertete Funktionen auf im Selbstbau hergestellte kleine Flugzeuge und Hubschrauber ausgedehnt werden – auch jenseits der im CM vermerkten VFR-Tag Beschränkung.

Eine qualitative Betrachtung kann auf Auswertung der Gerätespezifikationen (soweit vorhanden), Erfahrungen im Rahmen von eigenen Tests sowie in technisch ähnlichen Luftfahrzeugen beruhen. Diese Erfahrungen müssen nachvollziehbar dokumentiert sein, „Hörensagen“ oder Werbeprospekte reichen nicht.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 11

Für die Gefährdungsklassen MAJ, HAZ und CAT ist diese Vorgehensweise jedoch nicht verantwortlich. Hier bleibt nichts anderes übrig, als von vorne herein zugelassene Ausrüstung zu verwenden oder diese Funktionen zusätzlich mit zugelassener Ausrüstung zu realisieren und sicherzustellen, dass die nicht zugelassenen Geräte andere Funktionen und die Flugbesatzung nicht beeinträchtigen.

Eine weitere Möglichkeit ergibt sich, wenn die hier verwendeten Geräte aus solchen mit Lufttüchtigkeitszulassung abgeleitet wurden, der Gerätehersteller auch der Hersteller der entsprechenden zugelassenen Geräte ist und erstere eindeutig und ausreichend spezifiziert. Dann können diese Geräte im Rahmen einer Einzelbetrachtung durch die Luftfahrtbehörde als zulassungsäquivalent bewertet und zusammen mit dem Selbstbauflugzeug zugelassen werden. Hierfür müssen klare technische Aussagen des Geräteherstellers vorliegen, Verkaufs- oder Werbeaussagen reichen nicht.

Luftfahrt-Bundesamt		Hermann-Blenk-Strasse 26		38108 Braunschweig	
Referat T3	Nummer	240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 12

Anhang 1 – Sichtbedingungen für Nachtflüge

**Zusammenfassung der VFR Sicht-Bedingungen für Nachtflüge gemäß /
Summary of the VFR Seeing-Conditions for Flights at Night according to
FAA Helicopter Flying Handbook Chapter 13 (“Helicopter Night VFR Operations”, page
13-10).**

Sufficient lighting conditions exist, when one or two sets of conditions are present:

1. The sky cover is less than broken (less than 5/8 cloud cover), the flight time is between the local moon rise and moon set and the lunar disk is at least 50% illuminated.
Or:
2. The aircraft is operated over surface lighting that, at least, provides lighting of prominent obstacles, the identification of terrain features (shorelines, valleys, hills, mountains, slopes) and a horizontal reference by which the pilot may control the aircraft/rotorcraft. For example, this surface lighting may be the result of:
 - a) Extensive cultural lighting (manmade, such as a built-up area of a city),
 - b) Significant reflected cultural lighting (such as illumination caused by the reflection of a major metropolitan area’s lighting reflecting off a cloud ceiling), or
 - c) Limited cultural lighting combined with a high level of natural reflectivity of celestial illumination, such as that provided by a surface covered by snow or a flat desert surface (e.g. a sandy desert).

Ausreichende Sichtverhältnisse bei Nacht können angenommen werden wenn:

1. Die Wolkenüberdeckung beträgt weniger als 5/8 (broken), die Flugzeit liegt zwischen Auf- und Untergang des Mondes und die Mondscheibe ist mindestens zu 50% leuchtend.
Oder:
2. Das Luftfahrzeug wird über beleuchtetem Land betrieben, wobei mindestens Luftfahrthindernisse beleuchtet werden und die Identifikation von Bodenmerkmalen (Küsten, Täler, Berge, Geländesteigungen) ermöglicht wird. Ferner muss eine Horizontreferenz für den Piloten erkennbar sein. Beispiele sind:
 - a) Umfassende künstliche Beleuchtung am Boden wie man sie in stark bebauten Gebieten von Städten findet,
 - b) Stark auf den Boden zurück reflektierte (z.B. an einer Wolke) künstliche Beleuchtung,
 - c) Umfangreiches Licht von Himmelskörpern (Mond, Sterne), ggf. kombiniert mit geringem Vorkommen von Kunstlicht, das eine stark reflektierende Oberfläche wie z.B. eine geschlossene Schneedecke oder eine glatte Wüstenoberfläche (z.B. eine Sandwüste) beleuchtet.

Anmerkung:

Dies ist eine stark komprimierte Darstellung. Es wird empfohlen, zumindest die Seite 13-10 des oben genannten FAA Dokuments auch noch anzusehen. Ferner bietet sich an, diesen Anhang auch dem Flughandbuch anzuhängen sofern die Limitation gemäß 3.2 verwendet wird.

Luftfahrt-Bundesamt	Hermann-Blenk-Strasse 26	38108 Braunschweig		
Referat T3	Nummer 240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 13

Anhang 2 – Abkürzungen

AC	Rundschreiben der FAA mit Ratschlägen und Interpretationen
AEH	Airborne Electronic Hardware (früher: CEH, Complex Electronic Hardware)
AML STC	Musterzulassung für den Geräteeinbau in eine Vielzahl von Luftfahrzeugen
CAT	Catastrophic
CM	Certification Memorandum der EASA
CS-23/27	EASA Musterzulassungsspezifikation für kleine Flugzeuge/Hubschrauber
DAL	Development Assurance Level (Zuverlässigkeitsparameter)
EASA	Europäische Agentur für Flugsicherheit
FAA	US-amerikanische Luftfahrtbehörde
FAR-23/-27	FAA Musterzulassungsspezifikation für kleine Flugzeuge/Hubschrauber
FHA	Functional Hazard Assessment
FPGA	Field Programmable Gate Array (programmierbare integrierte Logikschaltung)
GAL	Generic Array Logic (programmierbare integrierte Logikschaltung)
HAZ	Hazardous
IC	Integrated Circuit
IFR	Instrumentenflugregeln
JAA	Verband der Europäischen Luftfahrtbehörden, erstellte gemeinsame Entwürfe für Vorschriften und Vereinbarungen zur Vorgehensweise vor der Übernahme dieser Themen durch die EASA
JAR-23/-27	JAA Musterzulassungsspezifikation für kleine Flugzeuge/Hubschrauber
LBA	Luftfahrt-Bundesamt
LuftGerPV	Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät
MAJ	Major
MIL-HBK	Militärisches Handbuch, hier: No. 217, Sammlung von Zuverlässigkeitsdaten (nicht geheim, gegen Gebühr bestellbar)
MIN	Minor
NSE	No Safety Effect
PAL	Programmable Array Logic (programmierbare integrierte Logikschaltung)
SSA	System Safety Assessment
SW	Software
VFR	Sichtflugregeln

Luftfahrt-Bundesamt	Hermann-Blenk-Strasse 26	38108 Braunschweig		
Referat T3	Nummer 240.9	Ausgabe 1.0	Februar 2018	Seite 14