

Anlage C zu LBTH 67

Lufttüchtigkeitsanforderungen

für

Unbemannte Luftfahrzeuge

der Kategorie C

Inhaltsverzeichnis

TEIL 1	4
EINLEITUNG	4
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	4
TOLERANZEN	4
TEIL 2 - LUFTTÜCHTIGKEITSANFORDERUNGEN	5
ABSCHNITT A - GELTUNGSBEREICH	5
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN FLÄCHENLUFTFAHRZEUGE	5
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	5
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	5
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	5
ABSCHNITT B - BETRIEBSVERHALTEN	6
ZUSATZ FÜR FLÄCHEN-FLUGZEUGE	7
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	8
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	10
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	12
ABSCHNITT C - STRUKTUR	14
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN FLÄCHENLUFTFAHRZEUGE	15
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	16
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	17
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	20
ABSCHNITT D - GESTALTUNG UND BAUAUSFÜHRUNG	22
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN FLÄCHENLUFTFAHRZEUGE	23
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	23
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	23
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	23
ABSCHNITT E - ANTRIEB	24
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN FLÄCHENLUFTFAHRZEUGE	26
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	26
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	27
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	27
ABSCHNITT F - AUSRÜSTUNG UND EINBAUTEN	29
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN FLÄCHENLUFTFAHRZEUGE	30
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	30
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	30
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	31
ABSCHNITT G - BETRIEBSGRENZEN UND INFORMATIONEN	32
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN FLÄCHENLUFTFAHRZEUGE	32
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	33
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	33
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	33

ABSCHNITT H - FERNSTEUERUNGSANLAGE	34
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN FLÄCHENLUFTFAHRZEUGE	34
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN DREHFLÜGLER (AUSGENOMMEN MULTICOPTER)	35
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN LUFTSCHIFFE	35
ZUSATZ FÜR UNBEMANNTEN MULTICOPTER	35

Teil 1

Einleitung

Diese Bauvorschrift dient als Grundlage für die Feststellung der Betriebssicherheit von unbemannten Luftfahrzeugen der Klasse 1 in der Kategorie B und C.

Die einzelnen Anforderungen müssen - soweit es die Konfiguration und Auslegung zulässt - erfüllt werden.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
b	Spannweite
dB(A)	Maß für den Lärmpegel des A-bewerteten Geräusches des unbemannten Luftfahrzeuges
idgF	In der geltenden Fassung
kg	Kilogramm
L _{Amax}	Maximaler Schallpegeldruck des A-bewerteten Geräusches des unbemannten Luftfahrzeuges
LFG	Luftfahrtgesetz
LBTH	Luft- und Betriebstüchtigkeitshinweis
VSTOL	Very Short Take-Off and Landing

Toleranzen

Sofern nicht anders angegeben sind Toleranzen von $\pm 5\%$ einzuhalten.

Teil 2 - Lufttüchtigkeitsanforderungen

Abschnitt A - Geltungsbereich

A.1	<p>Geltungsbereich Diese Lufttüchtigkeitsforderungen gelten für unbemannte Luftfahrzeuge in den folgenden Einsatzszenarien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Betriebsmasse bis einschließlich 5 kg und einem Einsatz in besiedeltem und dicht besiedeltem Gebiet • Betriebsmasse größer als 5 kg und kleiner oder gleich 25 kg in unbesiedeltem und besiedeltem Gebiet • Betriebsmasse größer als 25 kg und kleiner oder gleich 150 kg in unbebautem und unbesiedeltem Einsatzgebiet <p>Die Lufttüchtigkeitsforderungen sind für die folgenden Bauarten anwendbar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unbemannte Flächenluftfahrzeuge • Unbemannte Drehflügler • Unbemannte Multicopter • Steuerbare unbemannte Luftschiffe deren Auftriebskraft durch die Dichtedifferenz zwischen dem Füllgas und der Dichte der Umgebungsluft erzeugt wird. Bei Sonderformen (Prallluftschiffe als Heißluft-Luftschiffe) wird der Auftrieb durch die Dichtedifferenz zwischen heißer und kalter Luft erzeugt.
------------	--

Zusatz für unbemannte Flächenluftfahrzeuge

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

A.71	<p>Auftriebsgas Als Auftriebsgas kommt Helium oder Ballongas zur Anwendung. (Wasserstoff wird in diesen Forderungen nicht berücksichtigt, da er zu gefährlich bei der Handhabung ist!)</p>
A.73	<p>Einschränkungen Die Lufttüchtigkeitsanforderungen gelten nicht für freifliegende, unbemannte Heißluft- oder Gasballone, da diese nicht im Sinne von A.1 Geltungsbereich steuerbar sind.</p>

Zusatz für unbemannte Multicopter

Nicht anwendbar

Abschnitt B - Betriebsverhalten

B.1	<p>Steuerbarkeit</p> <p>Das unbemannte Luftfahrzeug muss unter allen vom Antragsteller beantragten meteorologischen Betriebsbedingungen sicher steuerbar und ausreichend wendig sein und zwar</p> <ul style="list-style-type: none"> a) beim Start, b) im Fluge (einschließlich Steigflug, Horizontalflug, Schwebeflug (sofern zutreffend) und Sinkflug), c) bei der Landung, d) beim Rollen am Boden (sofern zutreffend) <p>Die Nachweise sind für alle kritischen Kombinationen von Abflugmasse und Schwerpunktlage zu zeigen.</p> <p>Die zugehörigen Klappenstellungen, falls zutreffend, sind in den Nachweisen anzugeben.</p> <p>In Notfallsituationen (Ausfall einzelner Steuerungselemente, Ausfall eines Antriebs usw.) muss die Flugbahn des unbemannten Luftfahrzeuges noch beeinflusst werden können.</p>
B.3	<p>Nachweismethoden</p> <p>Der Nachweis, dass das unbemannte Luftfahrzeug den in diesem Abschnitt festgelegten Forderungen entspricht, ist durch Bodenversuche und geeignete Flugversuchen zu führen.</p>
B.5	<p>Umfang der Nachweise</p> <p>Wenn nicht anders angegeben, müssen die einzelnen Forderungen dieses Abschnittes mit allen kritischen Kombinationen von Gewicht und Schwerpunktlagen innerhalb des Bereiches der Beladungszustände für die die Zulassung innerhalb limitierter Umgebungsbedingungen gewünscht wird, nachgewiesen werden. Der Nachweis ist für alle Zustandsformen (z.B.: Luftbremsen, Flügelklappen, Fahrwerkstellungen, abwerfbaren Ballast, Bremsfallschirm, Schleppflug, Lastentransport,...) in denen das unbemannte Luftfahrzeug betrieben werden soll, zu erbringen.</p>
B.7	<p>Grenzen der Lastverteilung</p> <p>Alle sich während des Betriebs ändernden Lasten (z.B.: Treibstoff, Zuladung, Ballast, Gimbal,...) sind so einzubauen, dass sich der Schwerpunkt nur minimal verschiebt. Ansonsten sind Einrichtungen vorzusehen (Ballonetts, Trimmung an der Steuerung,...) die es erlauben, das unbemannte Luftfahrzeug während des Fluges nachzutrimmen. Die Gewichts- und Schwerpunktbereiche, innerhalb derer das unbemannte Luftfahrzeug sicher betrieben werden kann, müssen in den Betriebsunterlagen festgelegt werden.</p>
B.9	<p>Funktionsversuche</p> <p>Vor Beginn der Flugversuche müssen alle Bodenfunktionsversuche durchgeführt sein. Insbesondere ist die einwandfreie Übertragung der Signale der Sendeanlage zur Empfangsanlage und zu den jeweiligen Steuerungselementen des unbemannten Luftfahrzeuges zu prüfen.</p> <p>Gleiches gilt auch für eine an Bord befindliche Sendeeinrichtung, sofern vorhanden. Die elektromagnetische Verträglichkeit zu sämtlichen elektronischen Anlagen ist untereinander zu prüfen.</p>

B.11	Ruderausschläge Die Ruder sind auf Ihre Ausschlaggröße und -richtung zu überprüfen. Die sinnngemäße Zuordnung der Steuerausschläge zu den Bedienhebeln der Fernsteuerungsanlage muss gewährleistet sein.
B.13	Sonstige Betriebseinrichtungen Alle sonstigen Betriebseinrichtungen, die für einen sicheren Flugbetrieb erforderlich sind (Trimmung, Gasventil,...) oder die in der Lage sind, den sicheren Flugbetrieb zu beeinträchtigen, sind zu überprüfen und die korrekte Funktion ist nachzuweisen.
B.15	Reichweitentest Zur Überprüfung eines ausreichenden Aktionsradius der Fernsteueranlage ist ein Reichweitentest durchzuführen.

Zusatz für Flächen-Flugzeuge

B.31	Massegrenzen (a) Höchstzulässige Startmasse Die höchstzulässige Startmasse muss so festgesetzt werden, dass sie nicht größer ist als die vom Antragsteller für sämtliche Punkte dieser Richtlinie nachgewiesene höchstzulässige Startmasse. (b) Leermasse Die Leermasse ist das Gewicht des unbemannten Luftfahrzeuges mit dem fest eingebauten Ballast und der festgelegten Ausrüstung. Diese Leermasse muss so definiert sein, dass sie jederzeit wieder hergestellt und zur Schwerpunktbestimmung benutzt werden kann. Akkus oder Treibstoff wird als Zuladung betrachtet.
B.33	Schwerpunktlage Mit der unter B.31 - Massegrenzen festgelegten Leermasse ist die zugehörige Leermassen-Schwerpunktlage zu ermitteln. Der Leermassenschwerpunkt ist entsprechend zu kennzeichnen (z.B. durch rot markierte Schrauben und Kreise), so dass das unbemannte Luftfahrzeug jederzeit nachgetrimmt werden kann.
B.35	Nachgiebigkeit der Steuerung Die Nachgiebigkeit der Steuerung ist so gering wie möglich zu halten um Flattern weitestgehend auszuschließen. Die Nachgiebigkeit (inkl. Spiel) darf 10 % des halben Rudermaschinenweges bei voller Servokraft nicht übersteigen.
B.37	Start- und Landestrecken Folgende Werte sind zu ermitteln und in das Flughandbuch zu übertragen: (a) Startstrecke vom Stillstand bis zum Überfliegen eines 5 m hohen Hindernisses, (b) Landestrecke von 5m Höhe bis zum Stillstand.
B.39	Steuerbarkeit und Stabilität Es muss möglich sein, ausreichend schnelle Kursänderungen in allen Richtungen und Achsen vornehmen zu können. Dieses muss unter den folgenden Bedingungen nachgewiesen werden: <ul style="list-style-type: none"> • Mehrmotorige unbemannte Luftfahrzeuge mit ausgefallenem, kritischem Motor; • Fahrwerk ausgefahren; • Flügelklappen in Landstellung <p>Das unbemannte Luftfahrzeug muss ein derart eigenstabiles Flugverhalten aufweisen, dass es ohne übermäßige Geschicklichkeit des Piloten sicher betrieben werden kann. Die Steuerbarkeit ist durch ausreichend schnelle Kursänderungen in alle Richtungen und ausreichend schnelle Rollbewegungen um die Längsachse nachzuweisen.</p>

B.41	<p>Überziehungsverhalten Das Überziehverhalten muss bei vorderster und hinterster Schwerpunktlage untersucht und dokumentiert werden.</p> <p>(a) im Geradeausflug mit waagrecht gehaltenen Tragflächen (b) im Kurvenflug mit ca. 45° Querneigung</p> <p>Es muss dabei möglich sein, den normalen Horizontalflug wieder herzustellen, ohne dass eine nicht beherrschbare Neigung zum Trudeln auftritt.</p> <p>Motorleistung in den Fällen (a) und (b):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leerlaufleistung, - Maximale Dauerleistung (-schub)
B.43	<p>Schnellflug Es muss möglich sein, bei maximaler Dauerleistung (-schub) sämtlicher Motoren und 10°- 12° Bahnneigung einen stationären Flug durchzuführen.</p>
B.45	<p>Flattern Flattern darf in keinem der zugelassenen Betriebsbereiche auftreten.</p>

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

B.51	<p>Massegrenzen (a) Höchstzulässige Startmasse Die höchstzulässige Startmasse muss so festgesetzt werden, dass sie nicht größer ist als die vom Antragsteller für sämtliche Punkte dieser Richtlinie nachgewiesene höchstzulässige Startmasse.</p> <p>(b) Leermasse Die Leermasse ist das Gewicht des unbemannten Luftfahrzeuges mit dem fest eingebauten Ballast und der festgelegten Ausrüstung. Diese Leermasse muss so definiert sein, dass sie jederzeit wieder hergestellt und zur Schwerpunktbestimmung benutzt werden kann. Akkus oder Treibstoff wird als Zuladung betrachtet.</p>
B.53	<p>Schwerpunktlage Mit der unter B.51 - Massegrenzen festgelegten Leermasse ist die zugehörige Leermassen-Schwerpunktlage zu ermitteln und zu dokumentieren. Der Leermassenschwerpunkt ist entsprechend zu kennzeichnen (z.B. durch rot markierte Schrauben und Kreise).</p>
B.55	<p>Nachgiebigkeit der Steuerung Die Nachgiebigkeit der Steuerung ist so gering wie möglich, maximal jedoch 2° (am Rotorblatt gemessen) zu halten, um das Flattern der Rotorblätter weitestgehend auszuschließen. Die Überprüfung wird bei minimaler und maximaler Auslenkung der Taumelscheibe, beziehungsweise Heckrotorsteuerung und bei Rotorblattstellung 90°, 180°, 270° und 360° durchgeführt.</p> <p>Falls eine Paddelstange vorhanden ist, wird diese Messung auch für den Anstellwinkel der Paddel wiederholt, wobei die anzuwendende Drehkraft 15 % der für die tragenden Blätter verwendeten beträgt.</p>
B.57	<p>Steigleistung Die im Schwebeflug erreichte Tragkraft soll bei max. Startgewicht eine ausreichende Sicherheitsreserve beinhalten. Hierzu muss der unbemannte Drehflügler senkrecht bis zu einer Schwebeflughöhe von mindestens 2 mal Rotordurchmesser (außerhalb des Bodeneffekts) stationär zum Schweben gebracht werden. Aus diesem stationären Zustand soll der unbemannte Drehflügler zügig in den Steigflug übergehen. Bei diesem Manöver darf der maximale Anstellwinkel (max. Pitch) nicht erreicht werden.</p>

B.59	<p>Senkrechtes Absinken und Abfangen Aus einer Schwebeflughöhe von zirka 2 mal Rotordurchmesser muss der unbemannte Drehflügler zügig senkrecht bis auf etwa 1/2 mal Rotordurchmesser sinken und dort abgefangen werden. Hierbei sollte der maximale Anstellwinkel (max. Pitch) nicht erreicht werden.</p>
B.61	<p>Steuerbarkeit Es muss möglich sein, ausreichend wendige Kursänderungen in alle Richtungen und Achsen vornehmen zu können. Der Heckrotor muss in der Lage sein, das maximal erreichbare Drehmoment ausgleichen zu können. Die Funktionsfähigkeit der Heckrotorsteuerung muss, entgegen dem Drehmoment, bei maximaler Steigleistung deutlich erkennbar sein. Bei Ausfall des Antriebs oder des Heckrotors muss der Drehflügler sicher steuerbar sein (z.B. Autorotation).</p>
B.63	<p>Schnellflug Mit 60 - 80 % der maximalen Pitchstellung (je nach HS-Typ) muss der unbemannte Drehflügler im horizontalen Flug ein stabiles Flugverhalten und ausreichende Manövrierbarkeit aufweisen.</p>
B.65	<p>Flattern Flattern der Rotoren darf in allen zugelassenen Betriebsbereichen nicht auftreten.</p>
B.67	<p>Abfangen aus Horizontalgeschwindigkeit Nach Erreichen der maximalen Horizontalgeschwindigkeit soll das unbemannte Luftfahrzeug durch eine Gegenneigung stark abgebremst werden. Das unbemannte Luftfahrzeug soll dabei bis zum horizontalen Stillstand nicht ansteigen oder absinken. Unmittelbar nach dem Abbremsen soll das unbemannte Luftfahrzeug geradegerichtet und ohne Verzögerung oder Störung ins Steigen gebracht werden.</p>
B.68	<p>Kollisions-Sicherheit Hauptrotor Es muss nach Erreichen des Endausschlages der Kopfdämpfung genügend Abstand zwischen Hauptrotorblattspitzen und benachbarten Bauteilen der Struktur (z.B. Heckausleger) vorhanden sein, um eine Kollision der Hauptrotorblätter mit der Struktur zu verhindern.</p>
B.69	<p>Landungen Der Steuerer hat mehrere Landeanflüge bis zur Erfüllung aller Punkte der Lufttüchtigkeitsforderungen durchzuführen. Die Anzahl bestimmt der Prüfer. Hierbei ist auf eine kontinuierliche Verringerung von Geschwindigkeit und Höhe zu achten. Die Landeanflüge werden in Schwebeflughöhe beendet, sowie bis zum Boden durchgeführt. Der Absetzpunkt wird zuvor von dem Steuerer bestimmt.</p>

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

B.71	<p>Massegrenzen</p> <p>(a) Höchstzulässige Startmasse Die maximale Masse errechnet sich aus dem als Gasraum zur Verfügung stehenden Volumen in der Hülle multipliziert mit dem Auftriebswert des Gases, plus dynamischen Auftrieb. Der Rechnung werden folgende Werte zugrunde gelegt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Helium: 1,0 kg/m³ • Dynamischer Auftrieb: 5 % des statischen Auftriebs bei maximaler Motorleistung ohne Anstellwinkel. <p>(b) Leermasse Sie ist die einzige genau definierte, konstante Masse bei einem unbemannten Luftschiff und umfasst alle fest eingebauten Bauteile. (Die Leermasse ist aber für die Schwerpunktermittlung nicht maßgebend, da diese im fahrtüchtigen Zustand erfolgen muss).</p>
B.73	<p>Schwerpunktlage</p> <p>Es muss erwiesen werden, dass das vollausgerüstete unbemannte Luftschiff so getrimmt werden kann, dass es auf ebenem Kiel liegt. Lastveränderungen (leere Ballast- und Treibstofftanks) dürfen die Lage des Luftschiffes nicht wesentlich beeinflussen. Im Fall des Vorhandenseins von mehreren Ballonetts, müssen diese einen ausgeglichenen Füllstand haben.</p>
B.75	<p>Nachgiebigkeit der Steuerung</p> <p>Die Nachgiebigkeit der Steuerung ist so gering wie möglich zu halten. Die Mechanik der Anlenkung (Seile oder Gestänge) ist so zu konstruieren, dass keine ungewollten Ruderausschläge aufgrund von Deformationen der Hülle erfolgen können. Großflächige Höhenruder sind auszubalancieren, um die Stellkräfte möglichst niedrig zu halten. Die Nachgiebigkeit (einschließlich Spiel) darf 15 % des halben Rudermaschinenweges bei voller Servokraft nicht übersteigen.</p>
B.77	<p>Start- und Landungsstrecken bzw. -raum</p> <p>Folgende Werte sind zu ermitteln:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Strecke vom Stillstand bis zum Überfliegen eines 7 m hohen Hindernisses bei: <ul style="list-style-type: none"> (a) leichtem Luftschiff; Hand- und Bodenstart (b) schwerem Luftschiff; Hand- und Bodenstart (c) VSTOL-fähigem Luftschiff (d) alle Varianten bei Windstille bis zur maximal bei Flugbetrieb zulässigen Windgeschwindigkeit • Landestrecke von 5 m Höhe bis zum Stillstand bei: <ul style="list-style-type: none"> (a) leichtem Luftschiff; Hand- und Bodenstart (b) schwerem Luftschiff; Hand- und Bodenstart (c) VSTOL-fähigem Luftschiff (d) alle Varianten bei Windstille bis zur maximal bei Flugbetrieb zulässigen Windgeschwindigkeit • Minimaler Raum, der ein sicheres Starten und Landen ermöglicht, unter Berücksichtigung, dass immer gegen den Wind gelandet werden kann. <p>Ist der Betrieb des unbemannten Luftschiffes nur nach einigen der Punkte (a) bis (c) vorgesehen, so sind nur für diese die entsprechenden Werte zu ermitteln. Alle Werte sind aus mehrfach wiederholten Starts und Landungen durch statistische Verfahren zu ermitteln. Die Definition der Strecken und des Raumbedarfs muss eindeutig sein (Bezugspunkt am Luftschiff).</p>

B.79	<p>Steuerbarkeit Unbemannte Luftschiffe lassen sich in der Regel nur dynamisch instabil entwerfen. Durch die großen Abmessungen und die entsprechend verzögerten Eigenbewegungen lässt sich auch ein dynamisch instabiles unbemanntes Luftschiff sicher führen. Den hierbei entstehenden höheren Anforderungen an den Steuerer oder an eine Regelung muss Rechnung getragen werden. Die Forderungen an die Steuerbarkeit sollten mindestens in einem Geschwindigkeitsbereich von 30 % der Geschwindigkeit bei Nennleistung (=maximaler Dauerleistung) bis zur maximal zulässigen Geschwindigkeit erfüllt werden.</p>
B.81	<p>Höhensteuerung (a) statisch Bei Gasluftschiffen müssen die Gasventile so bemessen sein, dass ein Abstieg in nützlicher Frist eingeleitet werden kann. Beschränkend wird hier in der Regel der minimale zulässige Hülleninnendruck sein. (b) dynamisch Es muss möglich sein, das unbemannte Luftschiff auf einer im Wesentlichen waagerechten Bahn zu halten. Die Wirkung der Ruder muss klar ersichtlich sein. Wird die Instabilität des Luftschiffes elektronisch unterdrückt, so ist eine ausreichende Steuerbarkeit auch bei Ausfall dieser Anlage nachzuweisen.</p>
B.83	<p>Seitensteuerung Es muss möglich sein, ausreichend schnelle Kursänderungen in beide Richtungen sicher vornehmen zu können. Bei mehrmotorigen unbemannten Luftschiffen auch mit ausgefallenem kritischem Motor.</p>
B.85	<p>Schnellflug Bei maximaler Dauerleistung muss ein Steigflug mit einer Bahnneigung von 10 bis 12 Grad möglich sein.</p>
B.87	<p>Flattern In dem angegebenen Betriebsbereich darf kein Flattern der Ruder sowie des Hüllenmaterials auftreten. Es darf auch nicht zur Deformation der Hülle kommen die den Betrieb oder die Steuerbarkeit des unbemannten Schiffes beeinträchtigen.</p>
B.89	<p>Notverfahren Verfahren, die eine Kontrolle des unbemannten Luftschiffes auch bei Ausfall einzelner Komponenten erlaubt, sind zu entwickeln und zu beschreiben. Dies erfolgt i. d. R. im Rahmen der gefesselten Flugerprobung und betrifft insbesondere:</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) Ausfall einzelner Ruder bzw. Steuerungselemente, (b) Ausfall des kritischen Antriebs, (c) Ausfall der Fernsteuerung, (d) Ausfall von kritischen Teilen der elektrischen Anlage.

Zusatz für unbemannte Multicopter

B.91	<p>Massegrenzen</p> <p>(a) Höchstzulässige Startmasse Die höchstzulässige Startmasse muss so festgesetzt werden, dass sie nicht größer ist, als die vom Antragsteller für sämtliche Punkte dieser Richtlinie nachgewiesene höchstzulässige Startmasse. Außerdem darf die höchstzulässige Startmasse nicht größer sein als der maximale Gesamtschub abzüglich des Schubes zweier Rotoren.</p> <p>(b) Minimale Startmasse Das minimale Startgewicht muss größer sein, als der Maximalschub von 2 Rotoren zusammen.</p> <p>(c) Leermasse Die Leermasse ist das Gewicht des unbemannten Luftfahrzeuges mit dem fest eingebauten Ballast und der festgelegten Ausrüstung. Diese Leermasse muss so definiert sein, dass sie jederzeit wieder hergestellt und zur Schwerpunktbestimmung benutzt werden kann. Akkus werden als Zuladung betrachtet.</p> <p>Für nicht herkömmliche Multicopter sind diese Massegrenzen sinngemäß anzuwenden.</p>
B.93	<p>Schwerpunktlage</p> <p>Mit der unter B.91 - Massegrenzen festgelegten Leermasse ist die zugehörige Leermassen-Schwerpunktlage zu ermitteln. Der Leermassenschwerpunkt ist entsprechend zu kennzeichnen (z.B. durch rot markierte Schrauben und Kreise) und zu dokumentieren.</p>
B.95	<p>Steigleistung</p> <p>Die im Schwebeflug erreichte Tragkraft soll bei max. Startgewicht eine ausreichende Sicherheitsreserve beinhalten. Hierzu muss der unbemannte Multicopter senkrecht bis zu einer Schwebeflughöhe von mindestens 2 m (außerhalb des Bodeneffekts) stationär zum Schweben gebracht werden. Aus diesem stationären Zustand soll der unbemannte Multicopter zügig in den Steigflug übergehen. Bei diesem Manöver darf bei verstellbaren Rotoren (falls vorhanden) der maximale Anstellwinkel (max. Pitch) bzw. bei Propellern die maximale Drehzahl nicht überschritten werden.</p>
B.97	<p>Senkrecht absinken und Abfangen</p> <p>Aus einer Schwebeflughöhe von zirka 2 m muss der unbemannte Multicopter zügig senkrecht bis auf etwa 0,5 m sinken und dort abgefangen werden. Hierbei sollte bei verstellbaren Rotoren (falls vorhanden) der maximale Anstellwinkel (max. Pitch) bzw. bei Propellern die maximale Drehzahl nicht überschritten werden.</p>
B.99	<p>Steuerbarkeit</p> <p>Es muss möglich sein, ausreichend wendige Kursänderungen in alle Richtungen und Achsen vornehmen zu können. Bei Ausfall eines Antriebs muss der unbemannte Multicopter noch sicher steuerbar sein.</p>
B.101	<p>Schnellflug</p> <p>Bei der maximalen laut Flughandbuch erreichbaren Horizontalgeschwindigkeit muss der unbemannte Multicopter im horizontalen Flug ein stabiles Flugverhalten und ausreichende Manövrierbarkeit aufweisen.</p>
B.103	<p>Flattern</p> <p>Flattern der Propeller/Rotoren/Luftschrauben darf in allen zugelassenen Betriebsbereichen nicht auftreten.</p>
B.105	<p>Abfangen aus Horizontalgeschwindigkeit</p> <p>Nach Erreichen der maximalen Horizontalgeschwindigkeit soll das unbemannte Luftfahrzeug stark abgebremst werden. Das unbemannte Luftfahrzeug soll dabei bis zum horizontalen Stillstand nicht ansteigen oder absinken. Unmittelbar nach dem Abbremsen soll das unbemannte Luftfahrzeug ohne Verzögerung oder Störung ins Steigen gebracht werden.</p>

B.107	<p>Funktionsversuche (Ergänzung zu B.9) In einem Kippversuch ist nachzuweisen, dass die Lagesteuerung ein entsprechendes Gegenmoment aufbaut. Steuerimpulse müssen entsprechende Kipp- bzw. Drehmomente, wie in der Betriebsanweisung beschrieben, erzeugen,</p>
B.111	<p>Automatischer Höhenstabilisierungsmodus (altitude hold) Im Höhenstabilisierungsmodus (falls vorhanden) muss der unbemannte Multicopter eine konstante Höhe über dem Boden halten. Dies muss bis zur maximal erlaubten Windgeschwindigkeit möglich sein. Der Versuch muss bei der minimalen und maximalen im Flughandbuch dafür vorgesehenen Horizontalgeschwindigkeit (Geschwindigkeit relativ zur Luft) erfolgen. Dabei darf die Höhenabweichung nicht größer als +/- 1 m sein, im Schwebeflug für einen Zeitraum von 15 Sekunden und bei der maximalen Horizontalgeschwindigkeit über eine gerade Flugstrecke von 50 m.</p>
B.113	<p>Automatischer Positionshaltemodus (position hold) Im Positionshaltemodus (falls vorhanden) muss der unbemannte Multicopter eine vorgegebene horizontale Position mit einer Abweichung kleiner als 1,5 m Radius für 2 Minuten halten. Dies muss bis zur maximal erlaubten Windgeschwindigkeit möglich sein.</p>
B.115	<p>Automatischer Positionsanflugmodus (z.B. homing) Im automatischen Positionsanflugmodus (falls vorhanden) muss der unbemannte Multicopter eine vom Piloten vorgegebene Position mit einer Abweichung kleiner als 1,5 m Radius erreichen. Dies muss bis zur maximal erlaubten Windgeschwindigkeit möglich sein.</p>
B.117	<p>Automatische Landung (auto landing) Im Modus für automatische Landung (falls vorhanden) muss der unbemannte Multicopter an der aktuellen Position mit einer kontinuierlichen Verringerung der Höhe landen können. Dies muss bis zur maximal erlaubten Windgeschwindigkeit möglich sein.</p>
B.119	<p>Kombination von Flugversuchen Die einzelnen Flugmodi beziehungsweise Flugzustände können in sinnvoller Weise kombiniert werden.</p>
B.121	<p>Weitere nicht aufgeführte Flugmodi Die Funktion weiterer im Flughandbuch aufgeführter Flugmodi ist in geeigneter Art nachzuweisen.</p>

Abschnitt C - Struktur

C.1	<p>Lastvielfache Folgende, sichere Abfanglastvielfache sind einzusetzen:</p> <p>(a) $n = + 4 g$ und $- 1,5 g$ für unbemannte Flächen-Luftfahrzeuge (b) $n = (\text{Maximalschub aller Rotoren} / \text{minimales Fluggewicht}) * 1,5$ für unbemannte Multicopter und Drehflügler (c) $n = + 2 g$ und $- 1 g$ für massebehaftete Teile von unbemannten Luftschiffen</p>
C.3	<p>Nachweisführung und Versuche Soll der Nachweis ausreichender Festigkeit nicht durch Rechnung und Zertifikat erbracht werden bzw. liegen für die gewählte Bauweise keine oder unzureichende Erfahrungen vor, so sind Versuche durchzuführen. Bei rechnerischem Nachweis erprobter Bauweisen sind die von der Austro Control GmbH oder einer aufgrund einer Übertragung gemäß § 140b LFG zuständigen Behörde, anerkannten dem Stand der Technik entsprechenden Methoden, Verfahren und Werte einzusetzen (z.B. für Faserverbundwerkstoffe, Holzkonstruktionen etc.).</p>
C.5	<p>Steuerung Steuergestänge, deren Verbindungsglieder und die Befestigung von Steuerungselementen (Servos und dergleichen) sind so auszulegen, dass die Momente und Kräfte, z.B. aus den Servos, mit der nachzuweisenden Sicherheit von</p> <ul style="list-style-type: none"> • $j = 2,0$ bei unbemannten Flächenluftfahrzeugen, unbemannten Drehflüglern und unbemannten Multicopter; und • $j = 4,0$ bei unbemannten Luftschiffen <p>aufgenommen werden können. Es müssen Servotypen mit Stellkräften verwendet werden, die unter Berücksichtigung von der Größe des unbemannten Luftfahrzeuges und Anlenkungsart den zu erwartenden Stellkräften angemessen sind. Werden nicht metallische aus thermoplastischen Werkstoffen hergestellte Bauteile eingesetzt, so ist ein Nachweis gemäß C.7 - Ruderscharniere zu führen.</p>
C.7	<p>Ruderscharniere Der Dauerfestigkeit der Ruderscharniere ist besondere Bedeutung beizumessen. Es dürfen nur Bauteile verwendet werden, deren Festigkeit durch Temperaturänderungen nicht wesentlich beeinträchtigt werden. Sind diese nicht aus Metall gefertigt, so ist die Eignung in Bauteilversuchen nachzuweisen, wobei ein Temperaturbereich von $- 10 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $+ 40 \text{ }^\circ\text{C}$ untersucht werden muss.</p>
C.9	<p>Sonstige Einbauten (z.B.: Akkus,...) Die Halterungen für sonstige Einbauten sind so zu bemessen, damit sie die auftretenden Beschleunigungen nach C.1 - Lastvielfache ohne zu versagen aufnehmen können. Entsprechende Tests oder Nachweise sind vorzusehen.</p>
C.11	<p>Motorbefestigung Der Motorträger und seine Aufhängung müssen so bemessen sein, dass sie alle Beschleunigungen aus dem Flugbetrieb ertragen können. Der Nachweis ist durch Flugversuche zu erbringen.</p>

Zusatz für unbemannte Flächenluftfahrzeuge

C.31	<p>Lasten Die Festigkeitsforderungen sind durch die Angabe von sicheren Lasten (die höchsten im Betrieb zu erwartenden Lasten) und Bruchlasten (die sicheren Lasten multipliziert mit den unter C.33 - Nachweis der Festigkeit - Sicherheitszahl aufgeführten Sicherheitszahlen) festgelegt.</p>
C.33	<p>Nachweis der Festigkeit - Sicherheitszahl Für den Festigkeitsverband muss in Bauteilversuchen nachgewiesen werden, dass er im Stande ist den im Betrieb zu erwartenden Lasten standzuhalten, d. h. die Sicherheitszahl beträgt $j = 1,0$. Bei rechnerischem Nachweis beträgt die Sicherheitszahl $j = 1,5$.</p>
C.35	<p>Tragwerk Wird der Bauteilversuch nur mit dem Tragwerk bzw. einer Flügelhälfte durchgeführt, so ist die Flügelbefestigung am Rumpf bzw. die Flügelverbindung möglichst genau der Wirklichkeit anzupassen. Die tatsächlich auftretende Belastung kann</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) durch eine treppenförmige Belastung oder (b) durch eine Einzellast, deren Angriffspunkt bei $y = \frac{2b}{3\pi} \quad \text{mit } b = \text{Spannweite [m]}$ <p>liegt, aufgebracht werden.</p>
C.37	<p>Leitwerke und deren Befestigung Belastungsversuche mit Leitwerken bei sicherer Last sind erforderlich.</p>
C.39	<p>Rumpf Für den Rumpf ist ein Bauteilversuch mit dem kritischen Lastfall aus</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) der höchsten Höhenleitwerkslast, (b) der höchsten Seitenleitwerkslast, (c) der kritischen Belastung aus Landefällen durchzuführen.
C.41	<p>Fahrwerk Test mit maximaler Startmasse bei Fallhöhe von 12 cm.</p>
C.43	<p>Festigkeitsverband Schleppkupplung (sofern vorhanden) Die Schleppkupplungsbefestigung muss für eine sichere Last von 50 % des Höchstgewichtes des Schleppflugzeuges oder des geschleppten Segelflugzeuges bemessen sein, die in einem Winkel von 90° zur Symmetrieebene des Luftfahrzeuges angreift. Die Zugmessungen sind mit einer Messvorrichtung mit Schleppzeiger durchzuführen. Folgende Zugrichtungen sind zusätzlich jeweils mit der 0,75-fachen Last der höchstzulässigen Startmasse zu prüfen:</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) Nach vorne in horizontaler Richtung; (b) In der Symmetrieebene von der Horizontalen aus gemessen 20° nach vorn aufwärts, 40° nach vorn abwärts und 30° nach vorn seitwärts. <p>Der Rumpf darf keine Auffälligkeiten wie Verformungen, Risse und dergleichen während und nach dem Test aufweisen. Die Kupplung muss das Seil sicher halten und beim Ausklinken unter Last sicher freigeben.</p>

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

C.51	<p>Lasten Die Festigkeitsforderungen sind durch die Angabe von sicheren Lasten (die höchsten im Betrieb zu erwartenden Lasten) und Bruchlasten (die sicheren Lasten multipliziert mit der (den) vorgeschriebenen Sicherheitszahl(en)) festgelegt. Wenn nicht anders angegeben, sind die festgelegten Lasten „sichere Lasten“.</p>								
C.53	<p>Sicherheitszahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • Als Sicherheitszahl muss 1,5 eingesetzt werden, wenn kein anderer Wert angegeben ist. • In folgenden Fällen ist die Sicherheitszahl mit einem Sicherheitsvielfachen zu multiplizieren: <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>Rotorblattanschlüsse</td> <td style="text-align: right;">j = 2</td> </tr> <tr> <td>Schlag-Schwenkgelenke</td> <td style="text-align: right;">j = 2</td> </tr> <tr> <td>Blatthaltebolzen</td> <td style="text-align: right;">j = 2</td> </tr> <tr> <td>Sämtliche Steuerstangen Haupt-/Heckrotor</td> <td style="text-align: right;">j = 3</td> </tr> </table>	Rotorblattanschlüsse	j = 2	Schlag-Schwenkgelenke	j = 2	Blatthaltebolzen	j = 2	Sämtliche Steuerstangen Haupt-/Heckrotor	j = 3
Rotorblattanschlüsse	j = 2								
Schlag-Schwenkgelenke	j = 2								
Blatthaltebolzen	j = 2								
Sämtliche Steuerstangen Haupt-/Heckrotor	j = 3								
C.55	<p>Nachweis der Festigkeit Für den Festigkeitsverband muss nachgewiesen werden, dass er im Stande ist den im Betrieb zu erwartenden Lasten sicher standzuhalten. Der Antragsteller muss eine Fliehkraftberechnung zur Ermittlung der Zugkräfte an den Blattaufnahmen, Drehlagern und gegebenenfalls Schlag- und Schwenkgelenken durchführen.</p> $F_{ZF} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot d_{ROM} \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_{ROMax}}{30} \right)^2$; mit F_{ZF} Zentrifugalkraft [N] m Masse Rotorblatt [kg] d_{ROM} Durchmesser Rotor Massenschwerpunkt [m] n_{ROMax} max. Rotordrehzahl U/min inkl. 20 % Zuschlag für AR-Drehzahlerhöhung (s.a. E.57 Zulässige Blattgeschwindigkeit) <p>Der Hersteller/Erbauer der Rotorblätter muss ein Zertifikat ausstellen, dass die Rotorblätter diesen Zugkräften, unter Berücksichtigung der Sicherheitszahl, standhalten.</p>								
C.57	<p>Rotorkopf - Anlenkung Die Anlenkung muss die Stellkraft aller beteiligten Servos sicher aushalten, ohne dass Schubstangen etc. herausspringen oder Einstellungen dauerhaft verstellt werden. Die Prüfung hat durch die Blockade von Neigungen zweier Rotorblätter zu erfolgen. Der Prüfungsvorgang ist gemäß einer Verfahrensweisung vorzunehmen. Für die verwendeten Gelenke muss ein Festigkeitsnachweis erbracht werden. Für Kunststoffgelenke muss zusätzlich ein Temperaturnachweis erbracht werden.</p>								
C.59	<p>Stabilitätsprüfung bei Auslenkung der Hauptrotor - Anlenkung Die Anlenkung muss stabil genug sein, um bei abgeschalteter Fernsteuer-Anlage den vom Rotorblatt erzwungenen Ausschlägen gegen den Widerstand der Servos zu folgen, ohne zerstört zu werden.</p>								
C.61	<p>Anschlagfreie Steuerwege Bei Vollausschlägen aller Funktionen, auch gleichzeitig für Pitch, Nick und Roll, darf die Mechanik nicht auf Anschlag laufen.</p>								
C.63	<p>Festigkeit und Elastizität Hauptrotor (Blatthalter und Blätter) Der Eignungsnachweis des Rotorblattes, des Aufbaus, des verwendeten Materials und der Belastungsgrenzen (Zugbelastung des Rotorblattauges) sind anhand einer Berechnung nachzuweisen.</p>								

C.65	<p>Falltest Fahrwerk Der Falltest mit abgenommenen Hauptrotorblättern auf das Landegestell ist aus 12 cm Höhe durchzuführen.</p> <p>Erläuterungen:</p> <ol style="list-style-type: none"> (1) Der Falltest kann auch am abgenommenen Landegestell aus 12 cm Höhe durchgeführt werden. Dabei ist eine Ersatzmasse auf dem Landegestell anzubringen, die der maximal zulässigen Startmasse des Drehflüglers (abzüglich der Masse des Landegestells) entspricht (2) Es kann auch durch Berechnung nachgewiesen werden, dass das Landegestell imstande ist, die Lasten sicher aufzunehmen, die sich aus der geforderten Fallhöhe von 12 cm ergeben.
-------------	--

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

C.71	<p>Nachweis der Lufttüchtigkeit Für den Festigkeitsverband muss in Bauteilversuchen nachgewiesen werden, dass er imstande ist den im Betrieb zu erwartenden Lasten standzuhalten. Dazu werden bei Versuchen die in C.73 - Belastungsfälle beschriebenen Belastungsfälle und die sich dabei rechnerisch ergebenden Lasten aufgebracht. Ein rechnerischer Festigkeitsnachweis wird nur anerkannt, wenn für die gewählte Bauweise aufgrund von Erfahrungen erwiesen ist, dass die benutzte Berechnungsmethode zuverlässige Ergebnisse liefert. Dabei ist mit den unten aufgeführten Sicherheitszahlen zu rechnen. Die der Festigkeitsrechnung zugrunde gelegten Festigkeitswerte sind im Handbuch nach Abstimmung mit dem Prüfer niederzulegen.</p>
C.73	<p>Belastungsfälle Belastungsfälle, die dem Festigkeitsnachweis zugrunde gelegt werden müssen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Lastfall 1:</u> Unbemanntes Luftschiff mit höchstzulässiger Startmasse, Trimmanstellung = 30 Grad, Kränkungswinkel = 0 Grad, mit vollem Propellerschub und minimalem Gasdruck. • <u>Lastfall 2:</u> Unbemanntes Luftschiff mit höchstzulässiger Startmasse, Trimmanstellung = -30 Grad, Kränkungswinkel = 0 Grad, mit vollem Propellerschub und minimalem Gasdruck. • <u>Lastfall 3:</u> Unbemanntes Luftschiff mit höchstzulässiger Startmasse, Trimmanstellung = 0 Grad, Kränkungswinkel = +/- 30 Grad, mit vollem Propellerschub und minimalem Gasdruck. • <u>Lastfall 4:</u> Das unbemannte Luftschiff landet auf dem Landerad - sofern vorhanden - mit einer senkrechten und waagerechten Stoßkraft von 30 % der senkrechten aus einer beliebigen Richtung. Die senkrechte Stoßkraft errechnet sich aus der höchstzulässigen Startmasse (vgl. B.71 Massegrenzen), multipliziert mit 0,2 g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Lastfall 5:</u> Für das am Mast verankerte unbemannte Luftschiff sind folgende Fesselkräfte vorzusehen: <ul style="list-style-type: none"> a) Eine Querkraft entsprechend dem vollen Propellerschub in jeder Richtung in der Normalebene zur Schiffsachse und eine gleichzeitig wirkende Längskraft von 25 % der Querkraft. Die Längskraft wirkt dabei vom und gegen den Mast. b) Eine reine Längskraft, die dann auftritt, wenn die Windgeschwindigkeit 20 m/s beträgt. • <u>Lastfall 6:</u> Für die Belastung der Leitwerke (Flosse und Ruder) ist mit einem anerkannten Verfahren eine Auftriebsverteilung in Spannweiten- und Tiefenrichtung zu ermitteln. Als Berechnungsgrundlage kommen Lastfall 1 und 2 zur Anwendung. Es sind die Lasten bei den Anstellwinkeln (30 Grad und mit voll ausgeschlagenem Ruder zu berechnen. 																														
<p>C.75</p>	<p>Sicherheitszahlen Die Sicherheitszahl ist das Verhältnis von Bruchfestigkeit (Struktur oder Werkstoff) zu der jeweiligen sicheren, d.h. im Betrieb auftretenden, maximalen Belastung. Bezogen auf die verschiedenen Lastfälle sind die Sicherheitszahlen gegen Bruch für die einzelnen Bauteile nachfolgend festgelegt:</p> <table border="1" data-bbox="395 958 1197 1301"> <thead> <tr> <th>Bauteil</th> <th>Lastfall</th> <th>j</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hülle/Gerüst</td> <td>1, 2, 3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Gondelaufhängung</td> <td>1, 2, 3</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Gondel</td> <td>1, 2, 3, 4</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Motorausleger/-gondel</td> <td>1, 2, 3, 4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Leitwerke (Flossen& Ruder)</td> <td>6</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Landerad</td> <td>4</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Bugverstärkung</td> <td>1, 2, 3</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Bugverankerung</td> <td>5</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Ankermast</td> <td></td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	Bauteil	Lastfall	j	Hülle/Gerüst	1, 2, 3	4	Gondelaufhängung	1, 2, 3	2	Gondel	1, 2, 3, 4	1,5	Motorausleger/-gondel	1, 2, 3, 4	2	Leitwerke (Flossen& Ruder)	6	1,5	Landerad	4	1,5	Bugverstärkung	1, 2, 3	1,5	Bugverankerung	5	1,5	Ankermast		2
Bauteil	Lastfall	j																													
Hülle/Gerüst	1, 2, 3	4																													
Gondelaufhängung	1, 2, 3	2																													
Gondel	1, 2, 3, 4	1,5																													
Motorausleger/-gondel	1, 2, 3, 4	2																													
Leitwerke (Flossen& Ruder)	6	1,5																													
Landerad	4	1,5																													
Bugverstärkung	1, 2, 3	1,5																													
Bugverankerung	5	1,5																													
Ankermast		2																													
<p>C.77</p>	<p>Lasten aus Massekräften Die Lasten aus den Massenkräften ergeben sich als Produkt aus Masse, Erdbeschleunigung (9,81 m/s²), Sicherheitszahl und Lastvielfachem.</p>																														
<p>C.79</p>	<p>Lasten aus aerodynamischen Kräften Die Lasten aus den aerodynamischen Kräften ergeben sich aus dem Produkt von Staudruck (bei maximaler Geschwindigkeit), Bezugsfläche, aerodynamischem Beiwert und Sicherheitszahl.</p>																														
<p>C.81</p>	<p>Lasten aus dem Antrieb Die Lasten am Antrieb bestimmen sich beim Schub als Schub bei maximaler Leistung, multipliziert mit 2, beim Drehmoment nach C.11 - Motorbefestigung.</p>																														
<p>C.83</p>	<p>Lasten bei der Landung und am Boden Die Lasten bei der Landung ergeben sich aus Lastfall 4 bzw. 5.</p>																														
<p>C.85</p>	<p>Kräfteaufnahme durch die Hülle bzw. durch das Gerüst Alle Kräfte von Aufhängungen sind so auf die Hülle und/oder das Gerüst zu übertragen, dass das Auftreten von Spannungsanhäufungen vermieden wird. Die zur Kräfteeinleitung bestimmten Teile müssen so ausgeführt sein, dass im Laufe der Lebensdauer keine wesentliche Festigkeitsverminderung an der Hülle durch Ermüdungserscheinungen oder Abnutzung auftritt.</p>																														

C.87	<p>Gewährleistung des Hülleninnendrucks</p> <p>Bei unbemannten Prallluftschiffen mit einer Gasfüllung sind Ballonetts vorzusehen, die über Gebläse oder Ansaugrohre ständig unter Druck gehalten werden. Der maximale Innendruck wird dabei über Ventile geregelt.</p> <p>Bei Hybridkonstruktionen, die den Hüllendruck unterstützend einsetzen, ist der für den Betrieb notwendige Mindestdruck festzulegen. Ansonsten finden die entsprechenden Ausführungen über Prallluftschiffe Anwendung. Hauptaufgabe der Ballonetts ist es, bei Änderung der Flughöhe durch Volumenänderung den Gasraum anzupassen, und so den Innendruck in dem zulässigen Bereich zu halten. Der normale Betrieb sollte ohne Gasablassen möglich sein, da sonst beim Abstieg die Gefahr besteht, dass sich die Ballonetts über ihr Nennvolumen ausdehnen müssen und zerstört werden können.</p>
C.89	<p>Anzahl und Platzierung der Ballonetts</p> <p>Es sind zwei Ballonetts einzubauen, wovon je eines vor und hinter dem Schwerpunkt einzubauen ist. Ein Ballonett ist ausreichend, wenn im normalen Betrieb des Luftschiffes keine Gewichtsänderung und keine anderen Umstände auftreten, die eine statische Trimmung erforderlich machen.</p>
C.91	<p>Dimensionierung der Ballonetts</p> <p>Die Ballonetts sind so auszulegen, dass der Betrieb in dem gewünschten Höhenbereich möglich ist, ohne Gas abzulassen. Dabei ist von der Standard-atmosphäre auszugehen. Während des Betriebes auftretende Temperaturänderungen sind wie folgt zu berücksichtigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatur des Gases und der Außenluft zu Beginn des Betriebs 0 Grad Celsius, Höhe, Startort • Aufheizung der Außenluft während des Betriebs auf 40 Grad Celsius • Aufheizung des Gases während des Betriebs auf 20 Grad Celsius über Umgebungstemperatur • Steigen auf maximal zulässige Höhe <p>Die Höhe der Aufheizung des Traggases ist im Flugversuch zu verifizieren. Zu Beginn des Betriebs sind beide Ballonetts prall gefüllt und entleeren sich anschließend vollständig.</p> <p>Bei Heißluftschiffen ist mit der maximal im Betrieb auftretenden Temperaturdifferenz für die Gastemperatur zu rechnen.</p>
C.93	<p>Dimensionierung von Lufteintrittsöffnungen, Luftleitung und Rückschlagklappen</p> <p>Lufteintrittsöffnungen, Luftleitungen und Rückschlagklappen müssen so dimensioniert sein, dass der Druck nicht unter den zulässigen Mindestwert abfällt, wenn das unbemannte Luftschiff dynamisch den schnellsten Abstieg macht. Dabei ist das Höhenruder voll auf Tiefe gestellt und die Motoren laufen mit maximaler Leistung, eine evtl. vorhandene Trimmung über die Ballonetts ist voll nach unten gestellt.</p>
C.95	<p>Bemessung der Ventile</p> <p>Ventile müssen so bemessen sein, dass der Druck nicht über das festgelegte Höchstmaß steigt, wenn das unbemannte Luftschiff dynamisch den steilsten Steigflug ausführt (Höhenruder voll auf Höhe, maximale Motorleistung, maximale Trimmanstellung nach oben).</p>
C.97	<p>Hülle</p> <p>Es ist nachzuweisen, dass das verwendete Hüllenmaterial in allen Richtungen die geforderte Reißfestigkeit aufweist.</p>
C.99	<p>Gerüst</p> <p>Es ist nachzuweisen, dass das Gerüst die geforderte Festigkeit und Steifigkeit aufweist. Für Strukturelemente und Konstruktionen, deren Eignung nicht bekannt ist, sind entsprechende Versuche erforderlich.</p>

C.101	<p>Leitwerke und Befestigungen Belastungsversuche mit Leitwerken bei sicherer Last sind erforderlich. Bei gas- oder luftgefüllten Leitwerken ist nachzuweisen, dass sie bei maximaler Windgeschwindigkeit und größtem Ruderausschlag (auf beide Seiten) ihre Aufgabe voll wahrnehmen können.</p>
C.103	<p>Komplettes Luftschiff Die Hülle oder das Gerüst darf beim Betrieb unter folgenden Bedingungen keine Deformationen erfahren, die den Betrieb beeinträchtigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) höchster Höhenleitwerkslast (b) höchster Seitenleitwerkslast (c) Überlagerung von höchster Höhen- und höchster Seitenleitwerkslast (d) Bodenlandung <p>Da für die Aufhängung von unbemannten Luftschiffen für solche Belastungsfälle keine zufrieden stellenden Lösungen bekannt sind, sollte dieser Punkt in der Flugerprobung nachgewiesen werden.</p>
C.105	<p>Ventile Manövrierventile, die über die Fernsteuerung geöffnet werden können, müssen mit großer Zuverlässigkeit öffnen und schließen. Der Beweis dafür muss in einem Versuch erbracht werden.</p>
C.107	<p>Ruder Diese sind ausreichend zu bemessen, wobei auf ausreichende Steifigkeit, vor allem bei aufgeblasenen Rudern, zu achten ist.</p>
C.109	<p>Fahrwerk Es ist zu beweisen, dass das Fahrwerk Landestöße gemäß C.73 - Belastungsfälle, Lastfall 4, aufnehmen kann, ohne dass Federbeine oder Reifen vollständig zusammengedrückt werden. Wird ein zentrales Fahrwerk verwendet, um das Luftschiff am Mast in den Wind schwingen zu lassen, so ist nachzuweisen, dass sich das Landerad automatisch der Rollrichtung anpasst. Ist das Luftschiff zur Durchführung von rollenden Starts am Boden (zum Aufbau des dynamischen Auftriebs) mit einem Heckrad an der unteren Seitenruderflosse ausgerüstet, so ist nachzuweisen, dass keine Schäden an Flosse oder Ruder auftreten, wenn das Höhenruder bei maximaler Rollgeschwindigkeit gezogen wird.</p>

Zusatz für unbemannte Multicopter

C.111	<p>Lasten Die Festigkeitsforderungen sind durch die Angabe von sicheren Lasten (die höchsten im Betrieb zu erwartenden) und Bruchlasten (die sicheren Lasten multipliziert mit der(den) vorgeschriebenen Sicherheitszahl(en)) festgelegt. Wenn nicht anders angegeben, sind die festgelegten Lasten „sichere Lasten“.</p>										
C.113	<p>Sicherheitszahl Als Sicherheitszahl muss 1,5 eingesetzt werden, wenn kein anderer Wert angegeben ist. Werden neuartige Herstellungsverfahren verwendet für die es noch keine gesicherten Erfahrungswerte gibt, erhöht sich die Sicherheitszahl auf 3,0. In folgenden Fällen ist die Sicherheitszahl mit einem Sicherheitsvielfachen zu multiplizieren:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Propeller-Befestigungen, Rotorblattanschlüsse sowie</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">j = 2</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Luftschrauben-Befestigungen</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">j = 2</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Schlag-Schwenkgelenke</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">j = 2</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Blatthaltebolzen</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">j = 2</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Sämtliche Steuerstangen Hauptrotor</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">j = 3</td> </tr> </table>	Propeller-Befestigungen, Rotorblattanschlüsse sowie	j = 2	Luftschrauben-Befestigungen	j = 2	Schlag-Schwenkgelenke	j = 2	Blatthaltebolzen	j = 2	Sämtliche Steuerstangen Hauptrotor	j = 3
Propeller-Befestigungen, Rotorblattanschlüsse sowie	j = 2										
Luftschrauben-Befestigungen	j = 2										
Schlag-Schwenkgelenke	j = 2										
Blatthaltebolzen	j = 2										
Sämtliche Steuerstangen Hauptrotor	j = 3										

C.115	<p>Nachweis der Festigkeit</p> <p>Für den Festigkeitsverband muss nachgewiesen werden, dass er im Stande ist, den im Betrieb zu erwartenden Lasten sicher standzuhalten. Der Antragsteller muss eine Fliehkraftberechnung zur Ermittlung der Zugkräfte an den Blattaufnahmen, Drehlagern und gegebenenfalls Schlag- und Schwenkgelenken (falls vorhanden) durchführen.</p> $F_{ZF} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot d_{ROM} \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_{ROMax}}{30} \right)^2 ; \text{ mit}$ <p> F_{ZF} Zentrifugalkraft [N] m Masse Rotorblatt/Luftschraube [kg] d_{ROM} Durchmesser Rotor/Luftschrauben Massenschwerpunkt [m] n_{ROMax} max. Rotor-/Luftschraubendrehzahl U/min inkl. 20 % Zuschlag für AR-Drehzahlerhöhung (s.a. E.57 - Zulässige Blattgeschwindigkeit) </p> <p>Der Hersteller/Erbauer der Rotorblätter muss ein Zertifikat ausstellen, dass die Rotorblätter diesen Zugkräften, unter Berücksichtigung der Sicherheitszahl, standhalten. Alternativ dazu können Belastungstests mit der rechnerischen Maximaldrehzahl durchgeführt werden. Die Dauer der Belastungstests errechnet sich aus dem 5-fachen der möglichen maximalen Einsatzdauer des unbemannten Luftfahrzeuges.</p>
C.117	<p>Maximaler Schub</p> <p>Die Konstruktion muss den Kräften und Momenten, hervorgerufen durch den maximal erreichbaren Standschub der Propeller bzw. Luftschrauben standhalten.</p>
C.119	<p>Anschlagfreie Steuerwege</p> <p>Bei Vollausschlägen aller Funktionen, auch gleichzeitig für Pitch, Nick und Roll, darf die Mechanik nicht auf Anschlag laufen.</p>
C.121	<p>Festigkeit und Elastizität Propeller/Rotorblatt/Luftschrauben</p> <p>Der Eignungsnachweis des Propellers / der Rotorblätter / der Luftschrauben, des Aufbaus, des verwendeten Materials und der Belastungsgrenzen (Zugbelastung des Propellerblattauges, maximale Drehzahl,...) sind anhand einer Berechnung oder durch entsprechenden Zertifikate nachzuweisen.</p>
C.123	<p>Falltest Landegestell</p> <p>Der Falltest auf das Landegestell ist aus 12 cm Höhe durchzuführen.</p> <p>Erläuterungen:</p> <p>Der Falltest kann auch am abgenommenen Landegestell aus 12 cm Höhe durchgeführt werden. Dabei ist eine Ersatzmasse auf dem Landegestell anzubringen, die der maximal zulässigen Startmasse des unbemannten Multicopters (abzüglich der Masse des Landegestells) entspricht</p>

Abschnitt D - Gestaltung und Bauausführung

D.1	Werkstoffe Eignung und Dauerhaftigkeit aller verwendeten Werkstoffe müssen aufgrund von geeigneten Nachweisen, Erfahrungen oder Untersuchungen erwiesen sein.
D.3	Herstellungsverfahren Die angewendeten Herstellungsverfahren dürfen keine Gestaltungsmerkmale aufweisen, die erfahrungsgemäß gefährlich oder unzuverlässig sind und müssen durchgehend einwandfreie Festigkeitsverbände ergeben (wie z.B. bei der Herstellung von Bauteilen aus faserverstärktem Kunststoffen, Klebeverbindungen u. dgl.).
D.5	Eignungsnachweis Die Eignung von Konstruktionsgruppen oder Teilen eines unbemannten Luftfahrzeuges, die für die Lufttüchtigkeit notwendig sind und über die keine oder unzureichende Erfahrungen vorliegen, muss durch Versuche belegt werden.
D.7	Elektrische Überbrückung Zur Vermeidung von "Knackimpulsen" sind Metallteile, die gegeneinander reiben, elektrisch zu überbrücken.
D.9	Vorkehrungen zur Überprüfung Es sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, dass alle Teile und Bereiche des unbemannten Luftfahrzeuges, die im Rahmen der regelmäßigen Kontroll- und Wartungsarbeiten erreichbar sein müssen, zugänglich sind.
D.11	Nivelliermarken Die für die Überprüfung der Schwerpunktlage vorgegebene Wiegelage muss definiert und entsprechende Nivelliermarken angebracht sein.
D.13	Sicherung von Verbindungselementen Für alle Verbindungselemente innerhalb des Festigkeitsverbandes sowie der Steuerung und anderer mechanischer Anlagen, die für den sicheren Betrieb des unbemannten Luftfahrzeuges wesentlich sind, müssen anerkannte Sicherungsmittel und -verfahren angewendet werden.
D.15	Steuerung Alle Steuerungen und Steuerungsanlagen müssen mit der ihrer Funktion angemessenen Leichtigkeit, Zügigkeit, Zwangsläufigkeit und Spielfreiheit arbeiten, sodass sie ihre Aufgaben einwandfrei erfüllen können.
D.17	Ruder <ul style="list-style-type: none"> a) Jedes Ruder muss durch eine eigene Rudermaschine mit ausreichender Kraft- bzw. Reserve des Stellmomentes angetrieben werden (ggf. können zwei Rudermaschinen erforderlich werden). Bei der Verwendung von mehr als einer Rudermaschine an einem Ruder ist deren Gleichlauf nachzuweisen. b) Alle Ruder müssen möglichst drehsteif ausgeführt sein und lediglich nur das notwendige Spiel der Ruderlagerung aufweisen. Gegebenenfalls ist zur Verhinderung von Flattern ein Massenausgleich erforderlich. Art, Anordnung und Größe des Massenausgleiches sind in den Betriebsunterlagen anzugeben.
D.19	Steuergestänge Steuergestänge müssen möglichst kurz und ausreichend bemessen sein, um ein Ausknicken zu vermeiden.
D.21	Seile Es dürfen nur Seile von ausreichender Qualität verwendet werden.

Zusatz für unbemannte Flächenluftfahrzeuge

D.31	<p>Einbau der Leitwerke Bewegliche Steuerflächen müssen so angeordnet sein, dass keine Behinderung untereinander oder durch andere, feste Bauteile auftreten kann, wenn eine der Flächen in ihrer äußersten Stellung festgehalten wird und die anderen über ihren vollen Ausschlagbereich bewegt werden. Diese Forderung muss auch unter sicherer Last (positiv und negativ) für alle Ausschläge über den vollen Ausschlagbereich erfüllt sein. Verformungen des Festigkeitsverbandes, der die Ruderflächen trägt, sind bei sicherer Last zu berücksichtigen.</p>
-------------	--

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

D.71	<p>Einbau der Leitwerke Bewegliche Steuerflächen müssen so angeordnet sein, dass keine Behinderung untereinander oder durch andere, feste Bauteile auftreten kann, wenn eine der Flächen in ihrer äußersten Stellung festgehalten wird und die anderen über ihren vollen Ausschlagbereich bewegt werden. Diese Forderung muss auch unter sicherer Last (positiv und negativ) für alle Ausschläge über den vollen Ausschlagbereich erfüllt sein. Verformungen des Festigkeitsverbandes, der die Ruderflächen trägt, sind bei sicherer Last zu berücksichtigen.</p>
D.73	<p>Vorkehrungen für Auf- und Abrüsten Die Gestaltung des unbemannten Luftschiffes muss so sein, dass Beschädigungen oder bleibende Verformungen beim Auf- bzw. Abrüsten vermieden werden, insbesondere, wenn sie nicht ohne weiteres erkennbar sind. Beim Auf- und Abrüsten ist das Luftschiff mit geeigneten Mitteln (z.B. Netz und Sandsäcke) am Boden zu sichern. Die Masse der Beschwerung sollte etwa das 1,5-fache der Höchstmasse gemäß B.71 - Massegrenzen betragen, wobei diese Masse möglichst gut am Schiff verteilt werden sollte.</p>

Zusatz für unbemannte Multicopter

Nicht anwendbar

Abschnitt E - Antrieb

E.1	<p>Bemessung Die Triebwerksanlage muss in Bezug auf die Leistung mechanisch, thermisch und elektrisch ausreichend bemessen sein. Es dürfen nur Motoren mit gutem Laufverhalten verwendet werden. Im eingebauten Zustand müssen die Motoren für die Wartung leicht zugänglich sein.</p> <p>Für unbemannte Drehflügler gilt, dass auch bei maximalem Anstellwinkel der Rotorblätter die Drehzahl des Rotors nicht einbrechen darf. Die verwendete Kupplung und/oder Freilauf müssen für die maximal zu erwartenden Drehzahlen und Drehmomente geeignet und ausreichend dimensioniert sein.</p> <p>Für unbemannte Luftschiffe muss die Leistung auch bei maximaler Windgeschwindigkeit bei der noch gestartet und gelandet werden darf ausreichen.</p>
E.2	<p>Gestaltung Der Antrieb darf keine Gestaltungsmerkmale aufweisen, die erfahrungsgemäß gefährlich oder unzuverlässig sind.</p>
E.3	<p>Elektroantrieb Elektromotoren sind sorgfältig zu entstoren. Die Stromleitungen zu den Motoren müssen einen genügenden Querschnitt aufweisen, um starkes Erwärmen zu vermeiden.</p>
E.4	<p>Verbrennungsmotoren Es dürfen nur Motoren mit gutem Laufverhalten verwendet werden. Im eingebauten Zustand müssen die Motoren für die Wartung leicht zugänglich sein. Für unbemannte Multicopter sind Verbrennungsmotoren als Antriebsmotoren nicht vorgesehen.</p>
E.5	<p>Kühlung Der Kühlung ist in jedem Fall ausreichende Beachtung zu schenken. Reicht der Fahrtwind oder der Luftstrom der Luftschrauben/Rotoren zur Kühlung der Motoren nicht aus, oder werden taktgesteuerte Motoren verwendet, so sind spezielle Lüfterräder vorzusehen. Elektronische Regler dürfen im gesamten Betriebsbereich die höchstzulässigen Betriebsparameter des Antriebs nicht überschreiten.</p>
E.6	<p>Brandverhütung Durch entsprechende Gestaltung und Bauausführung des Antriebs und der Zuleitungen und die Wahl geeigneter Werkstoffe ist die Wahrscheinlichkeit auftretender Brände so gering wie möglich zu halten (dickwandige Kraftstoffschläuche und Absperrventile).</p> <p>Befinden sich bei unbemannten Luftschiffen die Motoren in einer Hauptgondel, so ist der Maschinenraum feuerhemmend auszukleiden.</p>
E.7	<p>Schwingungen Der Antrieb darf im normalen Betriebsbereich keine kritischen Schwingungen erzeugen die diesen und das unbemannte Luftfahrzeug übermäßig beanspruchen (Verwendung von Schwingmetallen). Das Auftreten von Resonanzen bei bestimmten Drehzahlen ist durch geeignete Mittel zu unterbinden (Elastizität der Aufhängung, Drehzahlsteuerung, o.a.). Ein entsprechender Nachweis ist im Rahmen der Bodenversuche zu erbringen.</p>
E.8	<p>Zündanlage Die Zündanlage muss eine ausreichende Betriebssicherheit ergeben und darf nicht zu Störungen führen, die die Funktion der Fernsteuerungsanlage beeinträchtigen.</p>
E.9	<p>Schmierstoffanlage Ist eine Schmierstoffanlage vorhanden, so muss diese so gebaut und gestaltet sein, dass sie im normalen Betriebsbereich und unter den voraussichtlichen Betriebsbedingungen einwandfrei arbeitet.</p>

E.10	<p>Betriebsverhalten Die Prüfung des Betriebsverhaltens muss alle Versuche umfassen, die notwendig sind, das Verhalten des Antriebs z.B. beim Anlassen, Leerlauf, Übergang, Maximaldrehzahl usw. zu zeigen. Im gesamten Betriebsbereich muss eine einwandfreie Funktion und Regelbarkeit gegeben sein. Bei der Verwendung von Elektromotoren ist die Drehzahlregelung im Vorwärts- und Rückwärtslauf zu demonstrieren, falls diese Art des Einsatzes möglich ist.</p>
E.12	<p>Auspuffanlage Bei der Installation der Auspuffanlage ist die Hitzeabstrahlung zu berücksichtigen. Gegebenenfalls muss eine hitzebeständige Isolierung verwendet werden.</p>
E.13	<p>Abstellen der Triebwerksanlage Zur Berücksichtigung der besonderen Umstände bei unbemannten Luftfahrzeugen muss gewährleistet sein, dass die Triebwerksanlage sowohl mittels der Fernsteuerung als auch am unbemannten Luftfahrzeug selbst jederzeit deaktiviert werden kann. Die dafür vorgesehene Betätigungseinrichtung muss bei Betrieb der Triebwerksanlage ungefährdet erreichbar sein.</p>
E.14	<p>Beeinflussung der Motoren untereinander Motoren müssen so angeordnet sein und voneinander getrennt sein, dass das Versagen oder fehlerhafte Arbeiten irgendeines Motors oder irgendeiner Anlage, die den Motor beeinflussen kann, nicht den dauernden, sicheren Betrieb der übrigen Motoren beeinträchtigt. Mehrere Elektromotoren müssen von mindestens zwei getrennten Motorreglern geregelt werden. Bei unbemannten Multicoptern muss jeder Motor über einen eigenen Regler verfügen.</p>
E.15	<p>Kraftstoffanlage Die Kraftstoffanlage muss so ausgelegt sein, dass sie in der Lage ist, das Triebwerk im normalen Betriebsbereich und unter den voraussichtlichen Betriebsbedingungen ausreichend und sicher mit Kraftstoff zu versorgen.</p>
E.16	<p>Tankinhalt/Akkukapazität Der Tankinhalt/Die Akkukapazität muss bei durchschnittlichen Betriebsbedingungen eine Mindestflugzeit von</p> <ul style="list-style-type: none"> • 15 Minuten bei unbemannten Flächenluftfahrzeugen • 10 Minuten bei unbemannten Drehflüglern • 10 Minuten bei unbemannten Multicoptern • 30 Minuten bei unbemannten Luftschiffen <p>gewährleisten.</p>
E.17	<p>Kraftstoffbehälter</p> <p>(a) Kraftstoffbehälter müssen in der Lage sein, ohne Versagen den Schwingungs-, Trägheits-, Flüssigkeitsbelastungen und den Beschleunigungen gemäß C.1 - Lastvielfache, denen sie im Betrieb ausgesetzt sein können, standzuhalten.</p> <p>(b) Bei flexiblen Kraftstoffbehältern muss nachgewiesen sein, dass sie für die besondere Anwendung geeignet sind.</p>
E.18	<p>Siebe und Filter</p> <p>a) Zwischen Kraftstoffbehälter und Motor ist an geeigneter Stelle in der Kraftstoffleitung ein Sieb/Filter vorzusehen.</p> <p>b) Jedes Sieb bzw. jeder Filter muss für Kontrollen und Reinigungen zugänglich sein.</p>
E.19	<p>Leitungen und Schläuche Kraftstoffleitungen und/oder Schläuche müssen für die ihnen zugeordnete Aufgabe geeignet sein. Sie sind so einzubauen und zu befestigen, dass übermäßige Schwingungen verhindert werden und dass sie den Belastungen standhalten, die sich aus dem Kraftstoffdruck und aus beschleunigten Flugzuständen ergeben.</p>

E.20	Propeller/Luftschrauben - Allgemeines Propeller, Luftschrauben und/oder Rotorblätter dürfen keine Gestaltungsmerkmale aufweisen, die erfahrungsgemäß gefährlich oder unzuverlässig sind.
E.22	Propeller/Luftschrauben - Eignung Die Eignung der zur Herstellung verwendeten Werkstoffe muss aufgrund von Erfahrungen oder Versuchen nachgewiesen sein.
E.23	Propeller/Rotor/Luftschrauben - Betriebsverhalten Der Antragsteller hat in einem Funktionslauf nachzuweisen, dass der Propeller und/oder die Rotoren und seine Zubehörteile ohne Anzeichen von Schäden arbeiten.
E.24	Sicherung Spinner, Propeller, Luftschrauben und/oder sämtliche festen und beweglichen Verbindungselemente des Rotorkopfes, der Rotoren und dessen Steuerung müssen fest verbunden und ausreichend gesichert sein.
E.25	Schwingungen <ul style="list-style-type: none"> a) Die Größe der Schwingungsbeanspruchung der Propellerblätter/Rotorblätter/Luftschrauben unter normalen Betriebsbedingungen darf den Dauerbetrieb des unbemannten Luftfahrzeuges nicht gefährden. b) Teile des unbemannten Luftfahrzeuges in der Nähe der Propellerspitzen/Rotorblattspitzen müssen fest und steif genug sein, um Einflüssen in Folge von induzierten Schwingungen standzuhalten.

Zusatz für unbemannte Flächenluftfahrzeuge

E.31	Propeller - Eignung Luftschrauben müssen unter Berücksichtigung der Angaben in den Betriebsanleitungen der Motorenhersteller für den Betrieb geeignet und gut ausgewuchtet sein.
-------------	--

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

E.51	Haupt- und Heckrotor - Eignung <ul style="list-style-type: none"> a) Der Profilschwerpunkt sollte zur Verhinderung von Flattern immer vor dem Schubmittelpunkt (Torsion) des Rotorblatts liegen. Der Neutralpunkt soll hinter oder auf der Drehachse des Rotorblatts liegen. b) Die Rotorblätter müssen ausgewogen sein und den gleichen Masseschwerpunkt aufweisen.
E.55	Belastungsgrenzen Für sämtliche funktionalen Bestandteile von Haupt- und Heckrotor und deren Kraftübertragung (insbes. Transmission zum Heckrotor) sind Belastungsgrenzen nachzuweisen. Deren Einhaltung ist bei den jeweils maximal erreichbaren Drehzahlen zu überprüfen. Die Rotoren sind auf ihre Ausschlagsgröße und -richtung zu überprüfen. Die sinngemäße Zuordnung der Steuerausschläge zu den Bedienhebeln der Fernsteueranlage muss gewährleistet sein.

E.57	<p>Zulässige Blattgeschwindigkeit Die Einhaltung der zulässigen Blattspitzengeschwindigkeit ist anhand einer Drehzahlmessung mit Höchstdrehzahl unter Einrechnung der maximal zu erreichenden Vorwärtsgeschwindigkeit zu überprüfen. Diese darf in keinem Flugzustand überschritten werden und ist in den Betriebsunterlagen zu dokumentieren. Die Blattspitzengeschwindigkeit darf nicht die Herstellerangaben überschreiten.</p> <p>Blattspitzengeschwindigkeit</p> $v_{RO} = d_{RO} \times \pi \times \frac{n_{RO} + 20\%}{60}; \text{ mit}$ <p>d_{RO} Durchmesser Rotor n_{RO} Drehzahl Rotor</p> <p>Hinzu addiert werden muss noch die Fluggeschwindigkeit in m/s.</p>
E.59	<p>Sonstige Betriebseinrichtungen Alle sonstigen Betriebseinrichtungen sind zu überprüfen und die korrekte Funktion nachzuweisen.</p>

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Multicopter

E.81	<p>Rotor - Eignung (falls vorhanden)</p> <ol style="list-style-type: none"> Der Profilschwerpunkt sollte zur Verhinderung von Flattern immer vor dem Schubmittelpunkt (Torsion) liegen. Der Neutralpunkt soll hinter oder auf der Drehachse der Luftschraube liegen. Die Luftschrauben müssen ausgewogen sein und den gleichen Masse-schwerpunkt aufweisen.
E.83	<p>Schwingungen</p> <ol style="list-style-type: none"> Die Größe der Schwingungsbeanspruchung der Luftschrauben unter normalen Betriebsbedingungen darf den Dauerbetrieb des unbemannten Luftfahrzeuges nicht gefährden. Sämtliche Bauteile des unbemannten Multicopters müssen fest und steif genug sein, um Einflüssen von induzierten Schwingungen standzuhalten.
E.85	<p>Belastungsgrenzen Für sämtliche funktionalen Bestandteile der Luftschrauben (falls vorhanden) und deren Kraftübertragung sind Belastungsgrenzen nachzuweisen. Deren Einhaltung ist bei den jeweils maximal erreichbaren Drehzahlen zu überprüfen. Die Rotoren sind auf ihre Ausschlagsgröße und -richtung zu überprüfen. Die sinngemäße Zuordnung der Steuerausschläge zu den Bedienhebeln der Fernsteueranlage muss gewährleistet sein.</p>

E.87	<p>Zulässige Blattgeschwindigkeit</p> <p>Die Einhaltung der zulässigen Blattspitzengeschwindigkeit ist anhand einer Drehzahlmessung mit Höchstdrehzahl unter Einrechnung der maximal zu erreichenden Vorwärtsgeschwindigkeit zu überprüfen. Diese darf in keinem Flugzustand überschritten werden und ist in den Betriebsunterlagen zu dokumentieren. Die Blattspitzengeschwindigkeit darf nicht die Herstellerangaben überschreiten.</p> <p>Blattspitzengeschwindigkeit</p> $v_{RO} = d_{RO} \times \pi \times \frac{n_{RO} + 20\%}{60}; \text{ mit}$ <p>d_{RO} Durchmesser Rotor n_{RO} Drehzahl Rotor</p> <p>Hinzu addiert werden muss noch die Fluggeschwindigkeit in m/s.</p>
E.89	<p>Sonstige Betriebseinrichtungen</p> <p>Alle sonstigen Betriebseinrichtungen sind zu überprüfen und die korrekte Funktion nachzuweisen.</p>

Abschnitt F - Ausrüstung und Einbauten

F.1	<p>Elektrische Anlage - Belastbarkeit Die maximale Belastbarkeit der Leitungen darf nicht überschritten werden.</p>
F.3	<p>Elektrische Anlage - Verbindungen Als Kabelverbindung bzw. -anschluss sind wegen evtl. auftretender Schwingungen nur Steck- und Klemmverbindungen zulässig. Steckverbindungen sind zu sichern.</p> <p>Es dürfen nur solche Steckverbindungen verwendet werden die für die für den Anwendungszweck geeignet und erfahrungsgemäß zuverlässig sind.</p> <p>Sind in vorgefertigten, dem Stand der Technik entsprechenden und erfahrungsgemäß zuverlässigen Komponenten Lötverbindungen von flexiblen Leitern vorhanden und sind diese gegen unbeabsichtigtes Lösen gesichert, können solche Verbindungen akzeptiert werden.</p>
F.5	<p>Elektrische Anlage - Energieversorgung Die Art der verwendeten Energieversorgung (Akkus) muss für den Verwendungszweck geeignet sein. Strombelastbarkeit und Kapazität der Versorgungseinrichtung muss so groß sein, dass eine sichere Energieversorgung für die 1,5-fache geplante Flugzeit gemäß E.16 - Tankinhalt/Akkukapazität gegeben ist. Die Empfangsanlage muss von zwei unabhängigen Stromquellen betrieben werden. Durch eine geeignete Einrichtung muss der sichere Betrieb gewährleistet sein.</p>
F.7	<p>Elektrische Anlage - Energiebilanz Eine Energiebilanz für die gesamte elektrische Anlage muss erstellt werden. Die Belastbarkeit der Stromversorgung muss so ausgeführt sein, dass das 1,2-fache des maximalen Stroms aller Verbraucher zur Verfügung steht. Der Akku muss außerdem den auftretenden Spitzenbelastungen standhalten.</p>
F.9	<p>Zusatzfunktionen Für den Flugbetrieb nicht erforderliche Zusatzfunktionen, wie Beleuchtung usw., sind an eine gesonderte Versorgung anzuschließen.</p>
F.11	<p>Elektrische Anlage - Drähte und Leitungen Die elektrischen Leitungen müssen aus flexiblen Drähten bestehen und entsprechend den technischen und betrieblichen Anforderungen gesichert werden. Eine mechanische Beschädigung (z.B.: Scheuern,...) muss ausgeschlossen werden. Andere elektrische Verbindungen sind zulässig, sofern sie den betrieblichen Anforderungen (z.B.: Beständigkeit gegenüber Vibrationen,...) entsprechen.</p>
F.13	<p>Elektrische Anlage - Hauptschalter Für die luftfahrzeugseitige Anlage ist bei unbemannten Flächenluftfahrzeugen und Drehflüglern ein Hauptschalter direkt hinter den Stromquellen vorzusehen. Bei unbemannten Multicoptern ist eine nach F.3 - Elektrische Anlage - Verbindungen geeignete Steckverbindung für jeden Akku vorzusehen. Bei unbemannten Luftschiffen macht die Verwendung mehrerer Stromquellen und die Notwendigkeit der Versorgung mit elektrischer Energie auch am Boden (z.B. zur Gewährleistung des Hülleninnendruckes) die Funktion eines Hauptschalters kompliziert bzw. unmöglich. Sichergestellt sein muss daher, dass mit einem Schalter die Teile der elektrischen Anlage ausgeschaltet werden können, die eine direkte Gefährdung im flugbereiten Zustand darstellen. Dies betrifft insbesondere den Antrieb. Der Schalter und seine Schaltstellungen sind eindeutig zu kennzeichnen.</p>

F.15	<p>Mindestausrüstung Ladekontrollanzeige für Sender und Empfangsanlage</p>
F.17	<p>Störungssicherheit Die elektrische Anlage ist so aufzubauen, dass eine Störung der Fernsteuerung oder anderer Funktionen im unbemannten Luftfahrzeug nicht möglich ist. Insbesondere darf eine gegenseitige Beeinflussung der Signale an Bord nicht auftreten. Entsprechende Tests sind nachzuweisen.</p> <p>Hinweis: Aufgrund der Dimensionen von Luftschiffen ist die Einstrahlung von Störsignalen in Leitungen kritisch. Deshalb sind für sensible Leitungen (z.B. Signalleitungen für Servos) abgeschirmte Kabel zu verwenden oder andere Sicherungsmaßnahmen vorzusehen. Stark abstrahlende Leitungen, wie z.B. das Versorgungskabel zum Elektromotor, sind abzuschirmen. Weiterhin sind diese Kabelgruppen soweit wie möglich räumlich zu trennen (z.B. Verlegung auf Ober- und Unterseite des Schiffes). Bei komplexen elektrischen und elektronischen Anlagen können Störsignale in benachbarte Baugruppen fließen. Ein wirksamer Schutz dagegen ist zu entwerfen und zu prüfen. Alle Verbraucher sind auf Störstrahlungen zu überprüfen und entsprechend der Ergebnisse zu entstören.</p>

Zusatz für unbemannte Flächenluftfahrzeuge

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

F.71	<p>Mindestausrüstung</p> <ul style="list-style-type: none"> (a) Gasablassventil für Notfallsituationen zur Einleitung eines gemäßigten Sinkfluges, (b) Fernsteuerung mit Fail-safe-Einrichtung zur Beherrschung der Notfallsituation.
F.73	<p>Gasventil Ein elektrisch betätigtes Gasventil, das ein Absinken des unbemannten Schiffes im Notfall sicherstellen soll, muss eine eigene Stromquelle besitzen, die unabhängig von der restlichen Versorgung arbeitet</p>

Zusatz für unbemannte Multicopter

F.81	Restkapazitätsanzeige der Energieversorgung Es muss eine in allen geplanten Betriebszuständen des unbemannten Multicopters wahrnehmbare Warneinrichtung beziehungsweise Restkapazitätsanzeige der für den Flugbetrieb erforderlichen Energieversorgung des unbemannten Multicopters sowie der Sendeanlage vorhanden sein. Eine mögliche Kapazitätsreduktion der Akkus über die Lebensdauer muss berücksichtigt werden.
F.83	Erkennbarkeit der Richtung der Längsachse Die Richtung der Längsachse des unbemannten Multicopters muss vom Piloten optisch bei allen im Flughandbuch genannten Einsatzbereichen erkennbar sein.

Abschnitt G - Betriebsgrenzen und Informationen

G.1	<p>Dokumentation der elektrischen Anlage</p> <p>Für die gesamte luftfahrzeugseitige elektrische Anlage ist ein Schaltplan mit Stückliste zu erstellen, in der z.B. alle Drosseln und galvanische Trennungen, sowie Metall und Karbon-Teile und deren Verbindungen, Art und Querschnitte der verwendeten Kabel und Leitungen etc. angegeben sind. Hierbei ist die Positionierung der Kabelführung für den HF-Standpunkt unabdinglich.</p> <p>Zur Erläuterung ist eine entsprechende Dokumentation beizufügen. Diese Unterlagen sind in die Betriebsanweisung aufzunehmen.</p>
G.3	<p>Flughandbuch</p> <p>Die Betriebsgrenzen sowie alle anderen Angaben, die das unbemannte Luftfahrzeug kennzeichnen und für den sicheren Betrieb des unbemannten Luftfahrzeuges notwendig sind, müssen im Flughandbuch aufgeführt sein.</p> <p>Mindestens folgende Angaben müssen im Flughandbuch enthalten sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Allgemeines • Revisionsliste • Dreiseitenansicht mit Abmaßen • Kurzbeschreibung (Systembeschreibung) • Höchstzulässige Startmasse • Leermasse • Zulässige Schwerpunktlage • Betriebsgrenzen • Angaben über die Triebwerksanlage (Art des Motors, Leistung, Drehzahlbereich, Tankinhalt/Akkukapazität und Betriebszeit bis zum Erreichen einer Reservemenge) • Flugleistungen • Falls anwendbar, Angaben zum elektrischen Antrieb • Betriebsstoff • Check vor Flugbeginn • Reichweitentest • Normale Betriebsverfahren • Notverfahren (z.B. Ausfall des Senders oder Empfängers) • Flugbetrieb und zulässige Manöver • Landung • Check nach Beendigung des Fluges.

Zusatz für unbemannte Flächenluftfahrzeuge

G.31	<p>Flughandbuch</p> <p>Zusätzlich zu den in G.3 - Flughandbuch beschriebenen Anforderungen an das Flughandbuch müssen folgende Aspekte enthalten sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Start und Landestrecke • Art und Größe der zu verwendenden Propeller • Anrollen • Start • Triebwerksausfall am Boden und im Fluge
-------------	--

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

G.51	Flughandbuch Zusätzlich zu den in G.3 - Flughandbuch beschriebenen Anforderungen an das Flughandbuch müssen folgende Aspekte enthalten sein: <ul style="list-style-type: none">• Maximale Vorwärtsgeschwindigkeit• Minimaler Raum, der einen sicheren Start, Flug und Landung ermöglicht• Drehzahl sämtlicher Rotoren (und deren Grenz-/Max. Drehzahlen)
-------------	---

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

G.71	Flughandbuch Zusätzlich zu den in G.3 - Flughandbuch beschriebenen Anforderungen an das Flughandbuch müssen folgende Aspekte enthalten sein: <ul style="list-style-type: none">• Start- und Landestrecke,• Art und Größe der zu verwendenden Propeller,• Anrollen,• Start,• Triebwerksausfall am Boden und im Fluge
-------------	--

Zusatz für unbemannte Multicopter

G.81	Flughandbuch Zusätzlich zu den in G.3 - Flughandbuch beschriebenen Anforderungen an das Flughandbuch müssen folgende Aspekte enthalten sein: <ul style="list-style-type: none">• Maximale Geschwindigkeit in alle Richtungen• Minimaler Raum, der einen sicheren Start, Flug und Landung ermöglicht• Drehzahl sämtlicher Propeller/Rotoren (und deren Grenz-/Max. Drehzahlen)
-------------	--

Abschnitt H - Fernsteuerungsanlage

H.1	<p>Allgemeines</p> <p>Die Fernsteuerungsanlage und die Telemetrie-Verbindung (falls vorhanden) müssen für das unbemannte Luftfahrzeug geeignet sein. Es dürfen nur Funkanlagen verwendet werden, die den geltenden Vorschriften der zuständigen Behörden entsprechen. Bei dem Betrieb dieser Funkanlagen sind die geltenden Verfügungen der zuständigen Behörden zu beachten.</p> <p>Die Echtzeit-Steuerung durch die Fernsteuerungsanlage (Funkanlage) muss jederzeit gegeben sein. Das unbemannte Luftfahrzeug muss den Steuersignalen in jedem Betriebszustand (außer Funkausfall) folgen.</p> <p>Lage- und Positionsstabilisierungsvorrichtungen sind zulässig, sofern sie dieses Kriterium erfüllen.</p> <p>Sofern die Funkverbindung für die Nutzlast getrennt erfolgt, darf sie die für den Flugbetrieb erforderlichen drahtlosen Verbindungen nicht negativ beeinflussen.</p>
H.3	<p>Schwingungen</p> <p>Empfänger und Rudermaschinen müssen vibrationsgeschützt eingebaut werden.</p>
H.5	<p>Antenne</p> <p>Die Antenne ist möglichst weit von allen Verdrahtungsteilen und elektrisch leitenden Gegenständen außen und nach den entsprechenden Vorgaben der jeweiligen Hersteller zu verlegen.</p> <p>Die Ausführung der Antenne muss genau den Angaben des Fernsteuerungsherstellers entsprechen.</p>
H.7	<p>Reichweitentest</p> <p>Der Reichweitentest ist gemäß Angaben des Fernsteuerungsherstellers durchzuführen. Wegen der Störunterdrückung (hold) soll beim Reichweitentest eine definierte Steuer-Aktion fortlaufend wiederholt werden. Bei Vorhandensein oder möglichem Ausrüsten mit einer der folgenden Einrichtungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Funksender (Telemetrie, Video etc.) • Weitere Funkempfänger (Daten-Uplink) • GPS-Empfänger <p>ist der durchgeführte Reichweitentest ein zweites Mal mit allen laufenden Einrichtungen (und ggf. gleichzeitig mit laufendem Antrieb) durchzuführen.</p>

Zusatz für unbemannte Flächenluftfahrzeuge

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Drehflügler (ausgenommen Multicopter)

H.51	<p>Elektronische Stabilisierung</p> <p>(a) Heck-(Gier)-Kreisel Zulässig sind nur Geräte die dem Stand der Technik entsprechen und für den Flugmodellbau vorgesehen, vom Hersteller geprüft, oder Luftfahrt geprüft sind. Die Kreisel-Empfindlichkeit muss am Sender einstellbar sein. Eine sichere Befestigung des Sensors ist vorzunehmen.</p> <p>(b) Zusätzliche elektronische Flug-Stabilisatoren (andere als Heck-Kreisel) Diese sind als zusätzliche Sicherheit zulässig. Jede Flugstabilisierungsvorrichtung zusätzlich zum Heck-Kreisel muss zumindest folgendes erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kein Betriebszustand der Stabilisier-Einrichtung darf die manuelle Steuerbarkeit in Echtzeit durch (Knüppel-)Proportional-Steuerung außer Kraft setzen. • Eine von einer optischen Horizontlinie abhängige Steuerung, auch als Failsafe, ist nicht zulässig.
-------------	--

Zusatz für unbemannte Luftschiffe

Nicht anwendbar

Zusatz für unbemannte Multicopter

H. 61	<p>Elektronische Stabilisierungs- und Regelungseinrichtungen Zulässig sind nur Geräte und Systeme die erprobt, für den Einsatz in unbemannten Luftfahrzeugen vorgesehen oder für den Einsatz in der Luftfahrt geprüft sind.</p>
H.63	<p>Redundanz der Funksysteme Wird ein zweites Funksystem als Redundanz für die Steuerung oder als Notfallsystem eingesetzt, sind für beide Funksysteme unterschiedliche Frequenzbänder zu verwenden.</p>