



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST  
Service suisse d'enquête de sécurité SESE  
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI  
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

# **Schlussbericht Nr. 2319 der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST**

über den schweren Vorfall des Helikopters  
Robinson R22 Beta II, HB-ZGO,

vom 6. April 2016

1 km südöstlich von Worb/BE

## Cause

L'incident grave est dû à un court-circuit électrique entre les deux bornes de la génératrice et le boîtier d'un condensateur antiparasite monté après coup. Le court-circuit a provoqué des étincelles qui ont créé un feu dans le compartiment moteur.

Les facteurs suivants ont été identifiés comme causals :

- L'absence d'indication dans le guide d'installation concernant le montage du condensateur antiparasite sur la génératrice.
- L'installation inadéquate du condensateur antiparasite et l'état défectueux des capuchons en caoutchouc sont restés inconnus.

Le suivi incomplet des procédures prévues par le constructeur en cas d'incendie de nature électrique en vol a vraisemblablement contribué à l'apparition du feu.

Le fait qu'aucune autorisation spécifique à l'installation du condensateur antiparasite n'existait n'a pas contribué directement à la survenue de l'incident grave mais a été identifié comme un facteur de risque (*factor to risk*) dans le cadre de l'enquête.

## Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht enthält die Schlussfolgerungen der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) über die Umstände und Ursachen des vorliegend untersuchten schweren Vorfalls.

Gemäss Artikel 3.1 der 10. Ausgabe des Anhangs 13, gültig ab 18. November 2010, zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 sowie Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt ist der alleinige Zweck der Untersuchung eines Flugunfalls oder eines schweren Vorfalls die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen. Die rechtliche Würdigung der Umstände und Ursachen von Flugunfällen und schweren Vorfällen ist ausdrücklich nicht Gegenstand der Flugunfalluntersuchung. Es ist daher auch nicht Zweck dieses Berichts, ein Verschulden festzustellen oder Haftungsfragen zu klären.

Wird dieser Bericht zu anderen Zwecken als zur Unfallverhütung verwendet, ist diesem Umstand gebührend Rechnung zu tragen.

Die deutsche Fassung dieses Berichts ist das Original und daher massgebend.

Alle Angaben beziehen sich, soweit nicht anders vermerkt, auf den Zeitpunkt des schweren Vorfalls.

Alle in diesem Bericht erwähnten Zeiten sind, soweit nicht anders vermerkt, in der für das Gebiet der Schweiz gültigen Normalzeit (*Local Time* – LT) angegeben, die zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls der mitteleuropäischen Sommerzeit (MESZ) entspricht. Die Beziehung zwischen LT, MESZ und koordinierter Weltzeit (*Coordinated Universal Time* – UTC) lautet:  
LT = MESZ = UTC + 2 h.

## Schlussbericht

<b>Luftfahrzeugmuster</b>	Robinson R22 Beta II	HB-ZGO		
<b>Halter</b>	Mountain Flyers 80 Ltd., Flugplatz / Hangar 7, 3123 Belp			
<b>Eigentümer</b>	Mountain Flyers 80 Ltd., Flugplatz / Hangar 7, 3123 Belp			
<b>Fluglehrer</b>	Schweizer Bürger, Jahrgang 1969			
<b>Ausweis</b>	Berufspilotenlizenz für Helikopter ( <i>Commercial Pilot License Helicopter – CPL(H)</i> ) nach der Europäischen Agentur für Flugsicherheit ( <i>European Aviation Safety Agency – EASA</i> ), ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)			
<b>Flugstunden</b>	<b>insgesamt</b>	7510:28 h <b>während der letzten 90 Tage</b>	119:15 h	
	<b>auf dem Unfallmuster</b>	2203:34 h <b>während der letzten 90 Tage</b>	25:16 h	
<b>Fluglehrer aspirant</b>	Schweizer Bürger, Jahrgang 1989			
<b>Ausweis</b>	Berufspilotenlizenz für Helikopter ( <i>Commercial Pilot License Helicopter – CPL(H)</i> ) nach EASA, ausgestellt durch das BAZL			
<b>Flugstunden</b>	<b>insgesamt</b>	886:43 h <b>während der letzten 90 Tage</b>	26:06 h	
	<b>auf dem Unfallmuster</b>	679:37 h <b>während der letzten 90 Tage</b>	12:03 h	
<b>Ort</b>	1 km südöstlich von Worb/BE			
<b>Koordinaten</b>	611 500 / 197 300, auf einer Höhe von rund 3100 ft AMSL <sup>1</sup>			
<b>Datum und Zeit</b>	6. April 2016, 14:30 Uhr			
<b>Betriebsart</b>	Sichtflugregeln ( <i>Visual Flight Rules – VFR</i> ), Schulung			
<b>Flugphase</b>	Reiseflug			
<b>Art des schweren Vorfalls</b>	Brand im Motorraum			
<b>Personenschaden</b>				
Verletzungen	Besatzungsmitglieder	Passagiere	Gesamtzahl der Insassen	Drittpersonen
Tödlich	0	0	0	0
Erheblich	0	0	0	0
Leicht	0	0	0	0
Keine	2	0	2	Nicht zutreffend
Gesamthaft	2	0	2	0
<b>Schaden am Luftfahrzeug</b>	Leicht beschädigt			
<b>Drittschaden</b>	Keiner			

<sup>1</sup> AMSL: *Above Mean Sea Level*, Höhe über dem mittleren Meeresspiegel

## 1 Sachverhalt

### 1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf

#### 1.1.1 Allgemeines

Für die folgende Beschreibung von Vorgeschichte und Flugverlauf wurden die Aussagen der Flugbesatzung, bestehend aus Fluglehrer und Fluglehreraspirant, sowie Aufzeichnungen des Sprechfunkverkehrs zwischen der Flugbesatzung und der Platzverkehrsleitstelle (*Aerodrome Control Tower – TWR*) verwendet. Der Verlauf des Flugwegs wurde aus der Navigationssoftware des mitgeführten Tablet-computers ausgelesen.

Der Flug wurde nach Sichtflugregeln durchgeführt. Es handelte sich um einen Schulungsflug.

#### 1.1.2 Vorgeschichte

Der Fluglehrer und sein Fluglehreraspirant planten am Nachmittag des 6. April 2016 einen Ausbildungsflug im Rahmen eines Fluglehrerkurses ab dem Flughafen Bern-Belp (LSZB). Der dabei genutzte Helikopter vom Typ Robinson R22 Beta II, eingetragen als HB-ZGO, war an demselben Vormittag von einem Wartungsunternehmen einer 50-Stunden-Kontrolle, bei der auch ein Standlauf ausgeführt wurde, unterzogen worden (vgl. Kapitel 1.3.2).

Die beiden Piloten übernahmen den Helikopter rund zwei Stunden nach Abschluss dieser Unterhaltsarbeiten und führten die Vorflugkontrolle aus. Wie bei einem Fluglehrer-Ausbildungsflug üblich, setzten sich der Fluglehrer auf den Pilotensitz auf der rechten Seite und der Fluglehreraspirant auf den linken Sitz.

#### 1.1.3 Flugverlauf

Um 14:26 Uhr hob die Flugbesatzung mit der HB-ZGO vom Flughafen Bern-Belp ab. Der Flugweg führte über den Meldepunkt Hotel Echo (HE) in Richtung Osten (vgl. Abbildung 1).

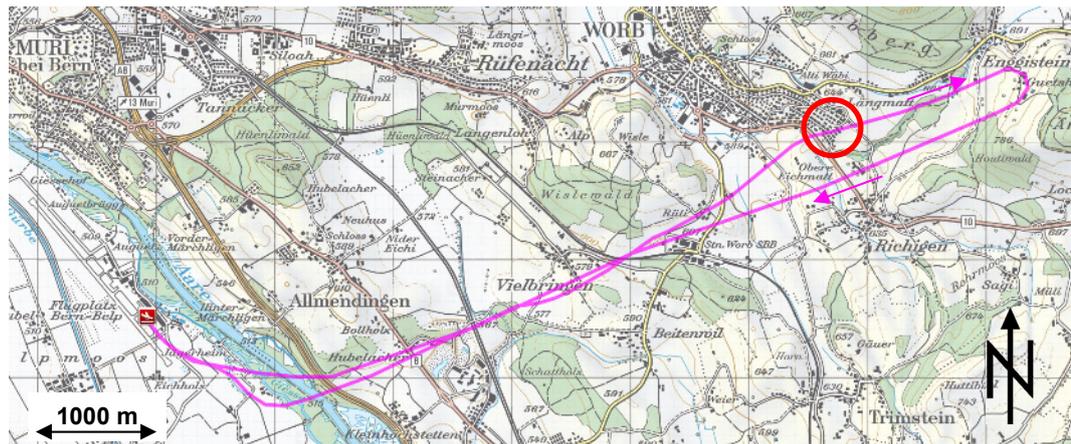
Nach einigen Flugminuten nahmen beide Piloten Störungen in ihren Kopfhörern wahr, die einem Kratzen wie bei einem Wackelkontakt beim Kopfhörerstecker entsprachen. Wenig später erkannten sie, wie der Zeiger des Amperemeters, der den Ladestrom zur respektive den Entladestrom von der Batterie misst, bis zu dessen Anschlägen ausschlug. Die Piloten entschieden sich, den Generator mittels Kipp-schalter im Cockpit vom elektrischen Bordnetz zu trennen und zusätzlich dessen Sicherungsautomaten (*Circuit Breaker – CB*) zu ziehen. Zeitgleich nahmen sie einen „elektrischen“ Brandgeruch wahr, der kurz darauf wieder abnahm.

Der Helikopter befand sich zu diesem Zeitpunkt immer noch innerhalb der Kontrollzone (*Control Zone – CTR*) Bern-Belp, leicht südöstlich von Worb, in einer Entfernung von rund 8 km vom Flughafen. Der Fluglehrer konnte zuerst wegen Unterbrechungen in der Funkverbindung keinen Kontakt mit der Platzverkehrsleitstelle des TWR Bern-Belp herstellen, so dass die Flugbesatzung eine Sicherheitslandung an der aktuellen Position erwog. Als aber der Fluglehreraspirant eine Verbindung zur Platzverkehrsleitstelle herstellen konnte und eine Direktfreigabe zur Rückkehr zum Flughafen erhielt, entschieden sie sich zum direkten Rückflug nach Bern-Belp.

Während der kurzen Rückflugphase schalteten die Piloten den Generator kurzfristig wieder ein, was zum gleichen Resultat mit fluktuierendem Amperemeter und erneut einsetzendem „elektrischem“ Brandgeruch führte. Sie schalteten den Generator wieder aus und liessen ihn bis zum Ende des Fluges ausgeschaltet.

Um 14:35 Uhr, d. h. nach 9 Minuten Flugzeit, landete der Helikopter wieder auf dem Vorfeld des Flughafens Bern-Belp. Die Platzverkehrsleitstelle meldete den beiden Piloten unmittelbar vor der Landung über Funk, dass im Motorbereich des Helikopters Rauch sichtbar sei. Der Fluglehrer aspirant stieg deshalb unmittelbar nach der Landung aus dem Helikopter und erkannte ein offenes Feuer am Motor im Bereich des Generators. Mit einem herbeigeholten Feuerlöscher konnte er den Brand selber löschen.

Die Feuerwehr des Flughafens Bern-Belp führte zur Zeit des schweren Vorfalles zufälligerweise eine Übung durch und war wenige Augenblicke nach der Landung ebenfalls beim Helikopter. Das Feuer war zu diesem Zeitpunkt bereits durch den Fluglehrer aspiranten gelöscht worden.



**Abbildung 1:** Flugweg gemäss Aufzeichnungen aus der Navigationssoftware. Der rote Kreis bezeichnet die ungefähre Position, wo die Flugbesatzung das Problem im elektrischen Bordnetz wahrnahm. Quelle der Basiskarte: Bundesamt für Landestopografie.

## 1.2 Meteorologische Angaben

### 1.2.1 Allgemeine Wetterlage

Hinter einer Kaltfront weitete sich ein schmaler Hochdruckausläufer von der Biskaya zur Alpennordseite aus.

### 1.2.2 Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des schweren Vorfalles

Wind	Aus 150 Grad mit 6 kt, Windrichtung variabel zwischen 110 und 190 Grad
Meteorologische Sicht	10 km oder mehr
Bewölkung	1/8–2/8 auf 3800 ft über Flugplatzhöhe (LSZB) 3/8–4/8 auf 6000 ft über Flugplatzhöhe (LSZB)
Temperatur	14 °C
Taupunkt	8 °C
Luftdruck (QNH)	1015 hPa, Druck reduziert auf Meereshöhe, berechnet mit den Werten der ICAO <sup>2</sup> -Standardatmosphäre
Trend	Keine signifikante Änderung

<sup>2</sup> ICAO - International Civil Aviation Organisation, internationale Zivilluftfahrtorganisation

**1.3 Angaben zum Luftfahrzeug**

## 1.3.1 Allgemeine Angaben

Eintragungszeichen	HB-ZGO
Luftfahrzeugmuster	Robinson R22 Beta II
Charakteristik	Einmotoriger zweisitziger Leichthelikopter mit Kolbentriebwerk und Kufenlandegestell, mit halbstarrem ( <i>semi-rigid</i> ) Hauptrotorsystem und konventionellem Zweiblattheckrotor für den Drehmomentausgleich
Hersteller	Robinson Helicopter Company, 2901 Airport Drive, Torrance, CA 90505, USA
Eigentümer / Halter	Mountain Flyers 80 Ltd., Flugplatz / Hangar 7, 3123 Belp
Motor	Hersteller: Lycoming Baumuster: O-360-J2A Seriennummer: L-39053-36A
Generator ( <i>alternator</i> )	Hersteller: Hartzell Baumuster: ALX-8521LS Seriennummer: 0042001
Entstörkondensator ( <i>alternator filter</i> )	Hersteller: Lone Star Aviation Baumuster: LS03-01004
Betriebsstunden	Zelle: 3383:15 h TSN <sup>3</sup> / 1201:01 h TSO <sup>4</sup> Motor: 5601:01 h TSN / 1201:01 h TSO
Höchstzulässige Massen	622 kg
Masse und Schwerpunkt	Die Masse des Helikopters zum Abflugzeitpunkt betrug rund 614 kg.  Sowohl Masse als auch Schwerpunkt befanden sich innerhalb der gemäss Luftfahrzeughandbuch ( <i>Pilot's Operating Handbook – POH</i> ) zulässigen Grenzen.
Eintragungszeugnis	Ausgestellt durch das BAZL am 4. August 2011
Lufttüchtigkeitszeugnis	Ausgestellt durch das BAZL am 10. Mai 2007
Lufttüchtigkeits-Folgezeugnis	Datum der Ausstellung: 8. Mai 2015  Datum des Ablaufs der Gültigkeit: 19. Mai 2016
Zulassungsbereich	Privat, VFR bei Tag und Nacht
Technische Einschränkungen	Keine eingetragen

<sup>3</sup> TSN: *Time Since New*, Betriebsstunden seit Herstellung

<sup>4</sup> TSO: *Time Since Overhauled*, Betriebsstunden seit Überholung

## 1.3.2 Unterhaltsarbeiten am Helikopter

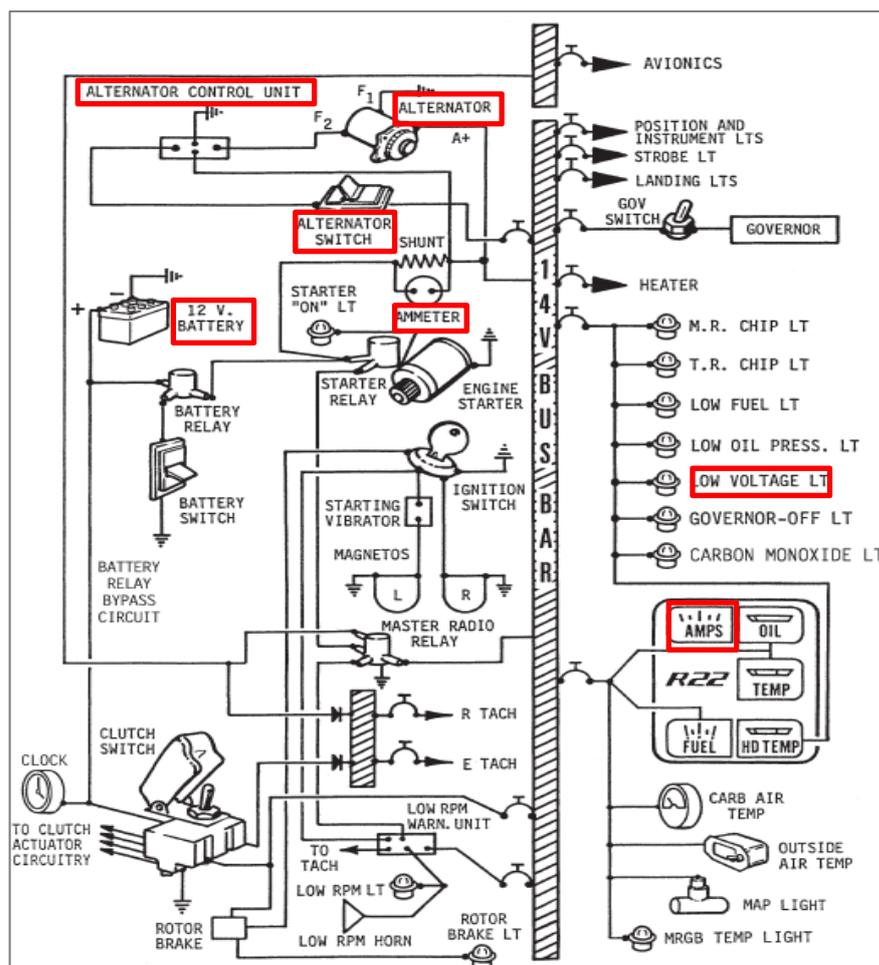
Gemäss den technischen Akten des Helikopters HB-ZGO wurde eine 50-Stunden-Kontrolle an Zelle und Motor am 6. April 2016, am Vormittag des schweren Vorfalls, bei 3383:15 Betriebsstunden ausgeführt und bescheinigt. Dabei wurden keine besonderen Instandstellungsarbeiten durchgeführt, die im Zusammenhang mit dem schweren Vorfall stehen.

## 1.3.3 Elektrisches System

Das Gleichstromsystem der HB-ZGO mit einer Betriebsspannung von 14 Volt wird durch eine wartungsfreie Bleibatterie (*battery*) sowie einen Generator (*alternator*) versorgt (vgl. Abbildung 2).

Das Steuergerät des Generators (*alternator control unit*) regelt den Ausgangsstrom am Generatoranschluss A+ und ist über einen Kippschalter (*alternator switch*) und einen CB mit der elektrischen Sammelschiene (*bus bar*) resp. Batterie verbunden. Durch Ausschalten des *alternator switch* oder Ziehen des CB wird das Erregerfeld des Generators ausgeschaltet und der Generatorausgang A+ wird in der Folge stromlos.

Im Instrumentenbrett ist ein Amperemeter (*ammeter*) eingebaut, das den Lade- und den Entladestrom von der Batterie anzeigt. Weiter ist eine Warnleuchte (*low voltage light*) vorhanden, die auf einen Ausfall oder eine Fehlfunktion des Generators hinweist.



**Abbildung 2:** Schematische Darstellung des elektrischen Systems der HB-ZGO gemäss POH. Die beim vorliegenden schweren Vorfall relevanten Komponenten wurden zur besseren Sichtbarkeit von der SUST rot umrandet.

#### 1.3.4 Austausch des Generators

Der Generator der HB-ZGO war am 18. Juni 2015 vom Unterhaltsbetrieb durch einen Generator des Baumusters ALX-8521LS ersetzt worden, der vorgängig in einem anderen Helikopter verbaut war. Für diesen Generator hatte der Unterhaltsbetrieb am 3. Februar 2014 ein EASA Form 1<sup>5</sup> ausgestellt, bei dem unter der Ziffer 11 *Status/Work* „*Inspected/Tested*“ eingetragen war, die Seriennummer aber nicht vermerkt war. Des Weiteren waren keine Arbeitsunterlagen zum Austausch des Generators vorhanden.

Der Generator mit dem Baumuster ALX-8521LS war vom Helikopterhersteller zum Einbau in der R22 Beta II zugelassen.

#### 1.3.5 Einbau eines Entstörkondensators

Im elektrischen System der HB-ZGO war zwischen dem Ausgang des Generators A+ und der Flugzeugmasse ein Entstörkondensator vom Typ Lone Star Aviation Corp. LS03-01004 eingebaut. Der Einbau war nicht in den technischen Akten vermerkt und es existierten keine weiteren Unterlagen dazu. Gemäss Aussagen des zuständigen Mechanikers, der die Wartung an der HB-ZGO durchgeführt hatte, war der Einbau dieses Entstörkondensators vor dem Jahr 2010 beim vorherigen Unterhaltsbetrieb vorgenommen worden, bei dem er zu diesem Zeitpunkt ebenfalls als Mechaniker gearbeitet hatte. Als Grund nannte er Störgeräusche in der Bordsprechanlage (*intercom*), die durch den Transponder hervorgerufen wurden. Diese manifestierten sich durch hörbare kurze Klickgeräusche, die sich aber auch mit dem Einbau des Entstörkondensators nicht hätten beseitigen lassen.

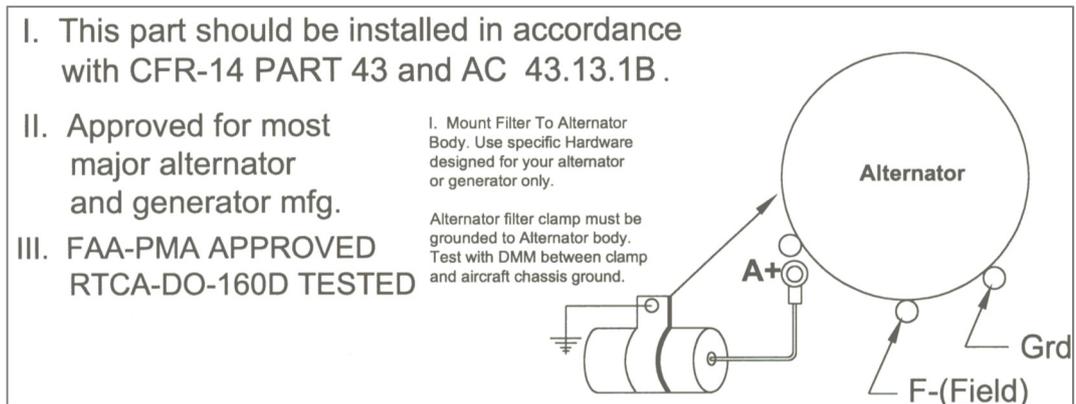
Die HB-ZGO war der einzige dem Unterhaltsbetrieb bekannte Helikopter, der mit einem derartigen Entstörkondensator bestückt war. Nach Aussage des Mechanikers sollen aber auch andere Luftfahrzeuge mit einem solchen Entstörkondensator nachgerüstet worden sein.

Gemäss einer FAA/PMA<sup>6</sup> ist der Einbau eines Entstörkondensators für verschiedene Leichtflugzeuge (z. B. Cessna C172) zugelassen, aber nicht für Helikopter der Robinson Helicopter Company. In einem allgemeinen Einbauhinweis des Herstellers des Entstörkondensators (vgl. Abbildung 3) wird erläutert, wie die Masseklemme des Kondensators mittels einer einzigen Schraube am Generator befestigt und das Kondensatorkabel mit dem Generatoranschluss A+ verbunden werden soll.

---

<sup>5</sup> Das EASA Form 1 ist eine Lufttüchtigkeitsbescheinigung für Ausrüstungsteile an Luftfahrzeugen, die von Herstellungs- - oder Instandhaltungsbetrieben ausgestellt wird.

<sup>6</sup> FAA/PMA (*Part Manufacturer Approval*) ist eine Genehmigung der US-Luftfahrtbehörde zur Herstellung von Ersatz- oder Modifikationsteilen an Luftfahrzeugen. Es ermöglicht einem Hersteller, Ausrüstungsteile für den Einbau in zertifizierten Luftfahrzeugen zu verkaufen.

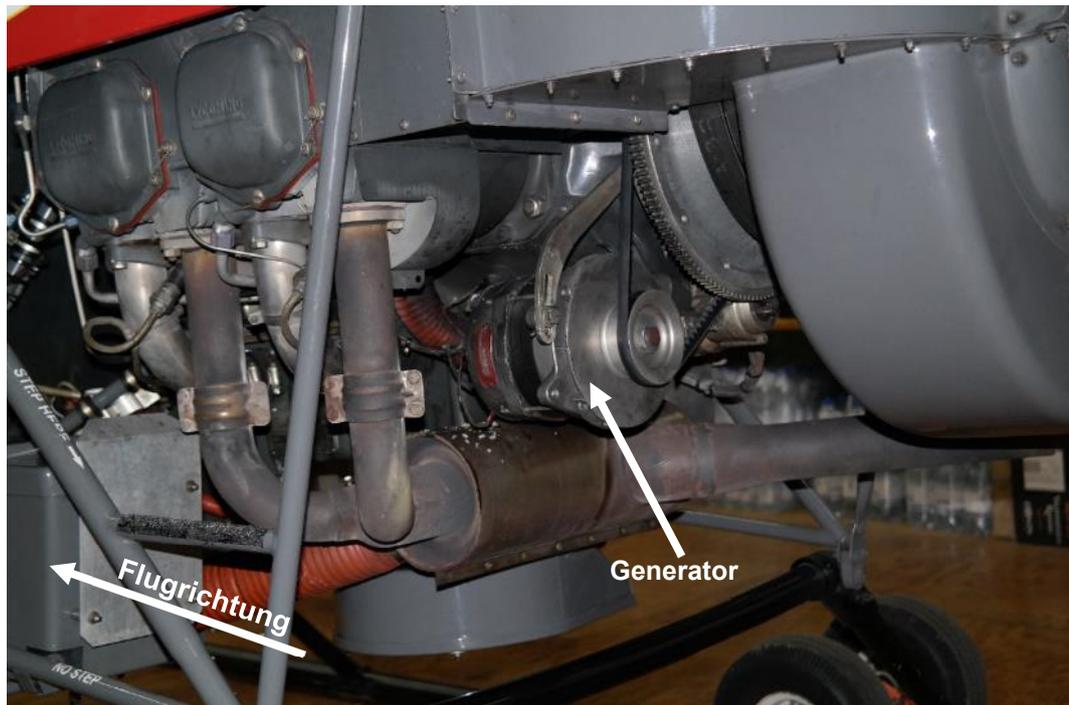


**Abbildung 3:** Einbauhinweis für den Entstörkondensator von dessen Hersteller

Der Helikopterhersteller Robinson Helicopter Company (RHC) bestätigte, dass die Installation des Entstörkondensators nicht einem werkseitigen Einbau (*factory installation*) entsprach und von RHC im Helikopter R22 Beta II kein solcher Entstörkondensator eingebaut wird. Dem Motorenhersteller Lycoming war die Verwendung eines solchen Entstörkondensators ebenfalls nicht geläufig.

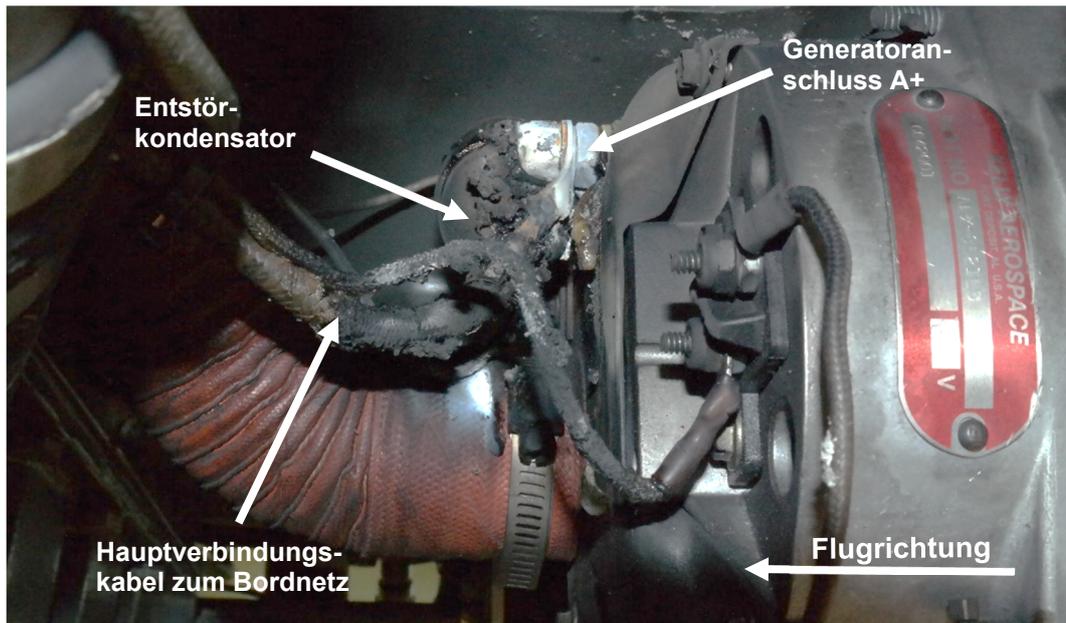
#### 1.4 Schäden am Luftfahrzeug

Nach der Landung wurde der Motorraum untersucht. Im linken unteren Motorraum wurden im Bereich des Generators Brandspuren sowie an allen umliegenden Bauteilen erhebliche Russspuren vorgefunden (vgl. Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Linker unterer Motorraum; Brand- und Russspuren im Bereich des Generators

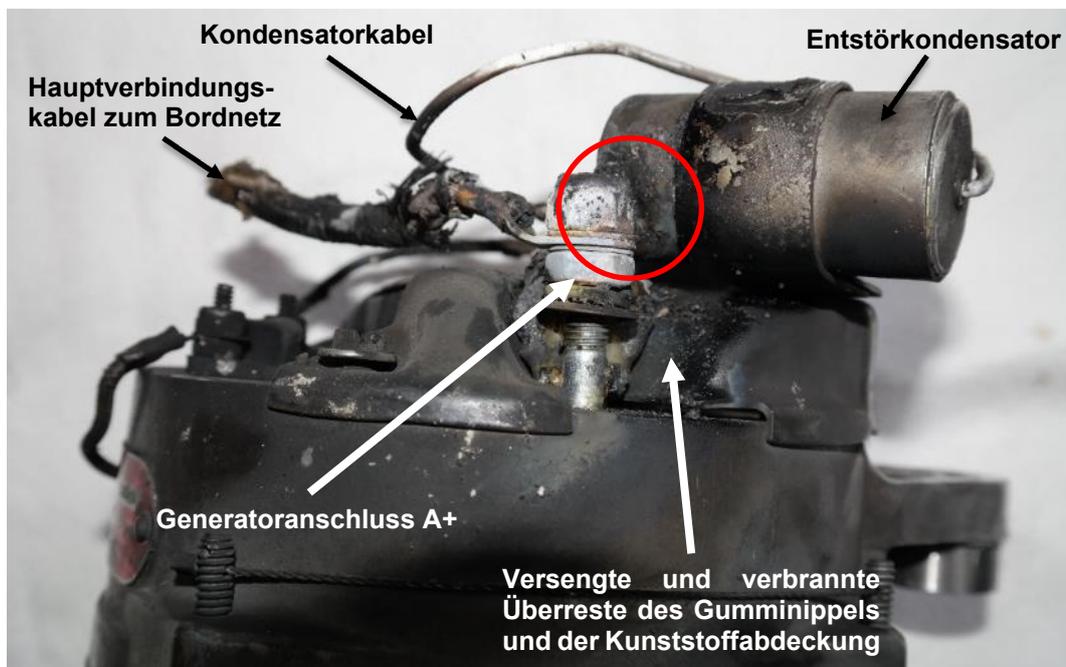
Die stärksten Brandspuren entstanden um die elektrischen Anschlüsse des Generators in unmittelbarer Nähe des Entstörkondensators (vgl. Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Generator mit Generatoranschluss A+, Hauptverbindungskabel zum Bordnetz und Entstörkondensator

Der Generator wurde anschliessend für weitere Abklärungen aus dem Helikopter ausgebaut und untersucht.

In Abbildung 6 ist erkennbar, dass die grösste Hitzeentwicklung um den Anschluss A+ des Generators aufgetreten war. Sowohl die Kunststoffabdeckung des Generators als auch die Anschlussabdeckung aus Gummi (Gumminippel), die vor dem Brand über den Anschluss A+ gestülpt war, waren geschmolzen und versengt. Auffallend ist der nur wenige Millimeter betragende Abstand zwischen der oberen Stopfmutter des Generatoranschlusses A+ und dem Kondensatorgehäuse.



**Abbildung 6:** Ausgebauter Generator mit Anschluss A+, Hauptverbindungskabel zum Bordnetz, Kabel zum Kondensator, Entstörkondensator und versengte und geschmolzene Überreste des Gumminippels bzw. der Kunststoffabdeckung. Im roten Kreis ist der geringe Abstand zwischen Generatoranschluss A+ und Kondensatorgehäuse ersichtlich.

## 1.5 Relevante Verfahrensvorgabe

Gemäss Flughandbuch des Herstellers (*Pilot's Operating Handbook*) sind die Vorgaben bei einem elektrischen Brand während des Fluges (*electrical fire in flight*) wie folgt beschrieben:

- „1. *Battery and alternator switches – OFF.*
2. *Open cabin vents.*
3. *Land immediately.*
4. *Fuel mixture OFF and fuel valve OFF.*
5. *If time permits, apply rotor brake to stop rotors.*
6. *Exit helicopter.“*

Gemäss dieser Verfahrensvorgabe sollen als erste Massnahme der Batteriehauptschalter (*battery switch*) und der Generatorschalter (*alternator switch*) ausgeschaltet werden. Damit werden die Batterie vom elektrischen Bordnetz getrennt und der Generatorausgang ausgeschaltet (vgl. Kapitel 1.3.3).

## 2 Analyse

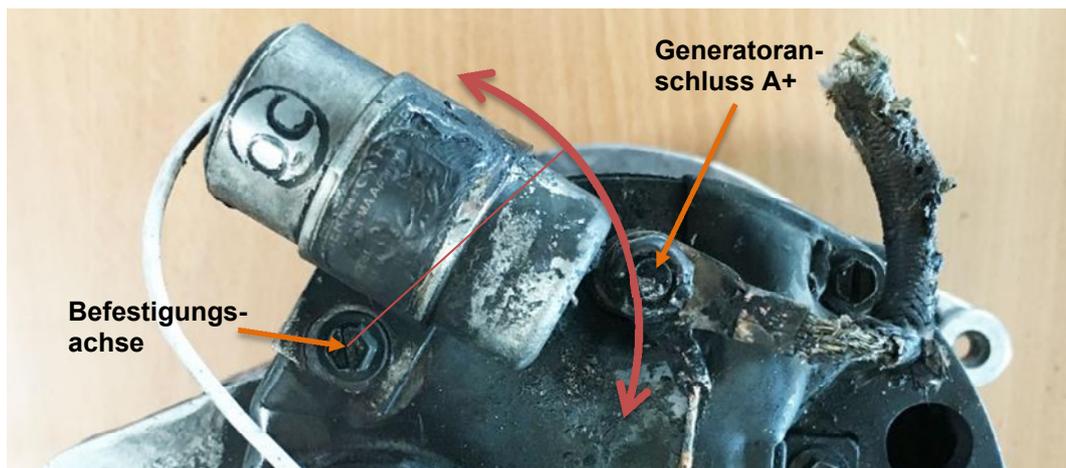
### 2.1 Technische Aspekte

Der Entstörkondensator war am Generator derart befestigt, dass der Abstand zwischen dem masseführenden Kondensatorgehäuse und dem Generatoranschluss A+ nur wenige Millimeter betrug. Die Anschlussabdeckung aus Gummi (Gumminippel), die auf den Anschluss A+ aufgestülpt war und gegen Kurzschluss des Generators resp. der Batterie isolierte, wurde deshalb zwischen Anschluss A+ und Entstörkondensator eingeklemmt und hat sich mit grosser Wahrscheinlichkeit über eine längere Zeit durch Motorvibrationen mechanisch abgenützt. Dadurch war die elektrische Isolation nicht mehr gewährleistet und es kam zu einem elektrischen Funkenschlag zwischen dem masseführenden Kondensatorgehäuse und dem Generatoranschluss.

Der Gumminippel, die umliegenden Kunststoffisolationen der elektrischen Kabel und die Kunststoffabdeckung des Generators entzündeten sich dabei und zerschmolzen, was zu dem von den Piloten wahrgenommenen „elektrischen“ Brandgeruch und der bei Kunststoff- und Gummibränden typischen sichtbaren Rauchentwicklung führte.

Durch das Betätigen des Generatorschalters (*alternator switch*) durch die Flugbesatzung wurde die Steuereinheit des Generators (*alternator control unit*) elektrisch vom Bordnetz getrennt und dadurch der Generatoranschluss A+ stromlos gemacht (vgl. Kapitel 1.3.3). Die Batterie blieb am elektrischen Bordnetz angeschlossen, was dazu führte, dass der Generatoranschluss A+ über das Generatoranschlusskabel weiterhin mit Strom von der Batterie versorgt wurde und in der Folge der Kurzschluss und der daraus resultierende Funkenschlag bestehen blieben.

Die Befestigungsbride des Entstörkondensators wies nur eine Bohrung auf und war deshalb mit einer einzigen Schraube am Generator befestigt (vgl. Abbildung 7). Die Positionierung des Entstörkondensators bezüglich dieser Befestigungsachse war deshalb unbestimmt. Es ist wahrscheinlich, dass sich der Entstörkondensator durch Vibrationen im Laufe der Zeit um die Befestigungsachse gedreht hat und sich dadurch der Abstand zwischen Generatoranschluss A+ und Kondensatorgehäuse zusätzlich verringert hat.



**Abbildung 7:** Installation des Entstörkondensators mittels einer Schraube am Generatorgehäuse; die Lage des Kondensators bei einer Drehung um die Befestigungsachse ist mit dem dunkelroten, kreisförmigen Pfeil eingezeichnet.

Da der Entstörkondensator nicht für den Einbau in einem Helikopter vom Muster Robinson R22 zugelassen war, existierte auch keine entsprechende typenspezifi-

sche Installationsanweisung. Die Dokumentation des Herstellers des Entstörkondensators gab lediglich einen schematischen Einbauhinweis vor, gemäss dem die Installation in der HB-ZGO vorgenommen worden war (vgl. Kapitel 1.3.5). Basierend auf einer FAA/PMA ist es hingegen zulässig, verschiedene Kleinflugzeuge (z. B. Cessna C172) mit einem solchen Entstörkondensator nachzurüsten. Der Einbau eines solchen Entstörkondensators birgt aufgrund der nicht explizit definierten Einbauweise mit nur einem Befestigungsbolzen grundsätzlich das Risiko eines Kurzschlusses wie beim vorliegenden schweren Vorfall.

Bei den regelmässigen Unterhaltsarbeiten und den Lufttüchtigkeitsfolgeprüfungen wurde die Installation des Entstörkondensators nicht beanstandet. Der Kurzschluss mit anschliessendem Funkenschlag lässt den Schluss zu, dass der Abstand zwischen dem Kondensatorgehäuse und dem Generatoranschluss A+ ungenügend war und der Gumminippel seine Schutzfunktion nicht mehr erfüllte. Dieser Gumminippel musste sich über eine längere Zeit abgenützt haben. Der ungenügende Abstand sowie die vorbestehende Beschädigung des Gumminippels blieben bei der unmittelbar vor dem Flug durchgeführten Kontrolle durch den Unterhaltsbetrieb und bei der Vorflugkontrolle unerkannt.

## 2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

Die ersten Anzeichen eines technischen Defekts zeigten sich der Flugbesatzung in Form von Störgeräuschen im Kopfhörer, gefolgt von starken Zeigerausschlägen im Amperemeter und einem leichten „elektrischen“ Brandgeruch. Die Situationsanalyse der Flugbesatzung führte zur Entscheidung, den Generator sofort auszuschalten und den geplanten Flug abzubrechen.

Da nach dem Ausschalten des Generators der Brandgeruch abnahm und von der Platzverkehrsleitstelle über Funk eine Freigabe für den direkten Rückflug erteilt wurde, entschied sich die Flugbesatzung zur Rückkehr zum 8 km entfernten Flughafen Bern-Belp. Der Entschluss, trotz des Brandgeruchs keine sofortige Sicherheitslandung auszuführen, ist deshalb nachvollziehbar. Für die Flugbesatzung gab es zu diesem Zeitpunkt keine Anhaltspunkte dafür, dass der Kurzschluss trotz ausgeschaltetem Generator weiterhin bestand und sich lokal ein Brand im Motorraum entwickelte.

Der Hersteller sieht bei einem elektrischen Brand während des Fluges vor, dass nicht nur der Generator ausgeschaltet, sondern auch die Batterie vom elektrischen Bordnetz getrennt werden soll (vgl. Kapitel 1.5). Im vorliegenden Fall hätte dies dazu geführt, dass der Generatoranschluss A+ nicht mehr mit Strom von der Batterie versorgt gewesen wäre und der Kurzschluss resp. Funkenschlag unterbrochen worden wäre. Es ist zwar nachvollziehbar, dass die Besatzung nur den Generator ausgeschaltet hat, um über die Batteriestromversorgung weiterhin funken und so mit der Platzverkehrsleitstelle in Verbindung bleiben zu können. Diese Entscheidung, den Verfahrensvorgaben des Herstellers nur unvollständig zu folgen, hat aber wahrscheinlich zur Entstehung des Brandes beigetragen oder diesen nach der Entstehung unterstützt.

Der vorliegende schwere Vorfall zeigt auf, wie schwierig es für eine Flugbesatzung ist, beim Auftreten von „elektrischem“ Brandgeruch eine umfassende und korrekte Situationsanalyse vorzunehmen. Trotz Ausschalten des verdächtigen Stromkreislaufes und einer nachfolgenden Abnahme des Brandgeruchs wie im vorliegenden Fall kann ein Kurzschluss weiterhin bestehen und sich daraus innert kurzer Zeit ein Brand entwickeln. In der Folge kann sich dieser trotz Verwendung von feuerhemmenden Materialien auf andere Flugzeugsysteme ausweiten. Aus diesem Grund ist bei Auftreten von Brandgeruch eine sofortige Sicherheitslandung grundsätzlich in Erwägung zu ziehen.

### 3 Schlussfolgerungen

#### 3.1 Befunde

##### 3.1.1 Technische Aspekte

- Der Brand entstand aufgrund eines elektrischen Kurzschlusses zwischen Generator und einem nachgerüsteten Entstörkondensator.
- Trotz Ausschalten des Generators durch die Flugbesatzung blieb der elektrische Kurzschluss bestehen.
- Der Hersteller schreibt vor, dass als erste Massnahme bei einem elektrischen Brand die Batterie und der Generator ausgeschaltet werden müssen.
- Ein Ausschalten der Batterie hätte den Kurzschluss beendet.
- Der Entstörkondensator-Typ war für den Einbau in dieses Helikoptermuster nicht zugelassen. Der Einbau wurde in den Technischen Akten überdies nicht vermerkt.
- Bei den regelmässigen Unterhaltsarbeiten und den Lufttüchtigkeitsfolgeprüfungen wurde die Installation des Entstörkondensators nicht beanstandet.
- Der Entstörkondensator war auf ungeeignete Weise installiert worden, so dass der isolierende Gumminippel auf dem Generatoranschluss mechanisch beschädigt wurde. Dadurch konnte sich ein elektrischer Kurzschluss mit dem masseführenden Kondensatorgehäuse bilden.
- Bei der unmittelbar vor dem Flug durchgeführten Kontrolle durch den Unterhaltsbetrieb und bei der Vorflugkontrolle blieben der ungenügende Abstand sowie die vorbestehende Beschädigung des Gumminippels unerkannt.

##### 3.1.2 Flugbesatzung

- Der Fluglehrer und der Fluglehreraspirant besaßen die für den Flug notwendigen Ausweise.
- Es liegen keine Anhaltspunkte für gesundheitliche Beeinträchtigungen der Flugbesatzung vor.

##### 3.1.3 Flugverlauf

- Um 14:26 Uhr startete die HB-ZGO auf dem Flughafen Bern-Belp zu einem Schulungsflug.
- Kurz nach Beginn des Fluges nahm die Flugbesatzung Kratzgeräusche im Kopfhörer und eine stark schwankende Anzeige des Amperemeters wahr. Gleichzeitig vernahm sie leichten „elektrischen“ Brandgeruch.
- Infolge der fluktuierenden Anzeige des Amperemeters schaltete die Flugbesatzung den Generator aus und kehrte zum 8 km entfernten Flughafen zurück.
- Da der Kurzschluss am Generator weiterhin bestand, breitete sich im Motorraum ein lokaler Brand aus. Dieser war für die Flugbesatzung nicht erkennbar.
- Nach der Landung in Bern-Belp um 14:35 Uhr informierte der Platzverkehrsleiter die Piloten über sichtbaren Rauch im Motorbereich der HB-ZGO.
- Der Fluglehreraspirant löschte mit einem herbeigeholten Feuerlöscher den Brand im linken unteren Motorraum.

### 3.1.4 Rahmenbedingungen

- Das Wetter hatte keinen Einfluss auf den Hergang des schweren Vorfalls.

## 3.2 Ursachen

Der schwere Vorfall ist auf einen elektrischen Kurzschluss zwischen dem Generatoranschluss und dem Gehäuse eines nachgerüsteten Entstörkondensators zurückzuführen. Der Kurzschluss verursachte Funkenbildung, die zu einem Brand im Motorraum führte.

Folgende Faktoren wurden als kausal erkannt:

- Die Art und Weise, wie der Entstörkondensator am Generator montiert werden muss, war in der Installationsanleitung nicht beschrieben.
- Die ungeeignete Einbauweise des Entstörkondensators und der mangelhafte Zustand des Gumminippels blieben unerkannt.

Das nicht vollständige Befolgen der Verfahrensvorgaben des Herstellers bei einem elektrischen Feuer im Flug hat wahrscheinlich zur Entstehung des Brandes beigetragen.

Die Tatsache, dass für den Einbau eines Entstörkondensators keine typenspezifische Zulassung vorhanden war, trug zwar nicht zur Entstehung des schweren Vorfalls bei, wurde aber im Rahmen der Untersuchung als risikoreich erkannt (*factor to risk*).

## 4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

### 4.1 Sicherheitsempfehlungen

Keine

### 4.2 Sicherheitshinweise

Als Reaktion auf während der Untersuchung festgestellte Sicherheitsdefizite kann die SUST Sicherheitshinweise veröffentlichen. Sicherheitshinweise werden formuliert, wenn eine Sicherheitsempfehlung nach der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 nicht angezeigt erscheint, formell nicht möglich ist oder wenn durch die freiere Form eines Sicherheitshinweises eine grössere Wirkung absehbar ist. Sicherheitshinweise der SUST haben ihre Rechtsgrundlage in Artikel 56 der VSZV:

*„Art. 56 Informationen zur Unfallverhütung*

*Die SUST kann allgemeine sachdienliche Informationen zur Unfallverhütung veröffentlichen.“*

#### 4.2.1 Einbau eines Entstörkondensators

##### 4.2.1.1 Sicherheitsdefizit

Bei einem Helikopter vom Typ Robinson R22 Beta II entstand während des Reisefluges ein offener Brand im Motorraum. Dieser wurde durch einen Kurzschluss zwischen einem nachträglich installierten Entstörkondensator und dem Generatoranschluss ausgelöst.

Gemäss einer FAA/PMA<sup>7</sup> ist der Einbau eines Entstörkondensators vom Typ Lone Star Aviation Corp. LS03-01004 für verschiedene Leichtflugzeuge (z. B. Cessna C172) zugelassen. Die Art und Weise, wie der Entstörkondensator am Generator montiert werden muss, ist in der Installationsanleitung jedoch nicht beschrieben. In der Folge kann der Entstörkondensator derart montiert werden, dass zwischen dem masseführenden Kondensatorgehäuse und dem Generatoranschluss A+ ein elektrischer Kurzschluss entstehen kann.

Im Allgemeinen ist bei FAA/PMA-Komponenten, die für den Einbau in gewissen Luftfahrzeugmustern zulässig sind, nicht immer eine detaillierte Installationsanweisung vorhanden. Die SUST erkennt darin ein grundsätzliches Risiko, dass Installationen vorgenommen werden, die ein verstecktes oder langzeitiges Gefahrenpotenzial bergen können.

##### 4.2.1.2 Sicherheitshinweis Nr. 18

Thema: Einbau eines Entstörkondensators gemäss einer FAA/PMA

Zielgruppe: Flugzeugbesitzer, -halter und Unterhaltsbetriebe

Bei allen Luftfahrzeugen, die gemäss einer FAA/PMA mit einem Entstörkondensator am Generator nachgerüstet wurden, sollte sichergestellt werden, dass kein elektrischer Kurzschluss zwischen dem masseführenden Kondensatorgehäuse und dem elektrischen Bordnetz auftreten kann.

<sup>7</sup> FAA/PMA (*Part Manufacturer Approval*) ist eine Genehmigung der US-Luftfahrtbehörde zur Herstellung von Ersatz- oder Modifikationsteilen an Luftfahrzeugen. Es ermöglicht einem Hersteller, Ausrüstungsteile für den Einbau in zertifizierten Luftfahrzeugen zu verkaufen.

#### 4.3 Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

Seit dem schweren Vorfall wurde in der Instruktion das Thema eines elektrischen Brandes an Bord eines Helikopters vertieft behandelt und auf eine umgehende Sicherheitslandung hingewiesen.

Dieser Schlussbericht wurde von der Kommission der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST genehmigt (Art. 10 Bst. h der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014).

Bern, 12. Dezember 2017

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle