

Sind modifizierte PKW-Dieselmotoren luftfahrttauglich?



Verband der Luftfahrtsachverständigen/ Technik

Autoren: Prof. Dr.-Ing. Werner Bauer Helmut Wolfseher

Vier spektakuläre Abstürze der zweimotorigen DA-42 zwischen März und September 2007 haben bei zahlreichen Piloten durchaus zu Recht die Frage aufgeworfen, ob modifizierte PKW-Dieselmotoren mit CommonRail-Technologie den speziellen Anforderungen der Luftfahrt gewachsen sind. Besondere Bedenken resultieren aus der Tatsache, dass CommonRail-Dieselmotoren ohne elektronische Steuerungen nicht realisiert werden können. Die Risiken, die aus dieser Technologie resultieren, sollen daher einer Betrachtung unterzogen werden.

Diese Betrachtung muss sich naturgemäß an den Anforderungen orientieren, die allgemein für Kolbenmotoren in der Luftfahrt nach Airworthiness Standard CS-E gelten¹. Technische Systeme können nur durch Dualität ausfallsicher gemacht werden. Der Double Engine Failure bei einer Boeing 777 im Januar dieses Jahres in Heathrow beweist, dass zur Dualität zusätzlich noch die Dissimilarität der Systeme hinzu-kommen muss.

Diesem Anspruch können Kolbenmotoren, gleich welcher Bauart, konstruktionsbedingt nicht gerecht werden. Die Luftfahrttauglichkeit von PKW-Dieselmotoren muss also so definiert werden, dass sie mindestens über die gleiche relative Ausfallsicherheit verfügen, wie sie herkömmliche Kolbenmotoren mit Fremdzündung besitzen. Es ist daher zu prüfen, ob CommonRail-Dieselmotoren generell und die Centurion®-Motoren von Thielert speziell diesem Anspruch gerecht werden.

Neben den bereits erwähnten Unfällen hat die österreichische Regierung von 42 technischen Zwischenfällen bei der DA-42 berichtet, die aber nicht zum Absturz der Maschine geführt haben².



Robin Irg135_ba_41

Die Ursachen für die Zwischenfälle waren im Einzelnen:

- Triebwerksausfall auf Grund eines blockierten Filters im Ölsystem
- Fahrwerk konnte auf Grund eines Wartungsfehlers nicht ausgefahren werden
- Gebrochenes Fitting in einer Treibstoffleitung
- Leck im Auspuffsystem
- Gebrochene Treibstoffrückleitung
- Gebrochener Auspuff
- Triebwerksausfall durch Wasser in der ECU³ (mehrmals)
- Ausfall des Systems der Segelstellung des Propellers
- Triebwerksausfall auf Grund einer gebrochenen Öldüse
- Triebwerksausfall auf Grund eines Metallteils im System der Segelstellung des Propellers
- Gebrochenes Fitting am Getriebe
- Triebwerksausfall mit bis dato unbekannter Ursache (mehrmals)
- Triebwerksausfall nach dem Versagen der Verbindung von Kurbel- und Nockenwelle
- Triebwerksausfall, Auffindung von zahlreichen Metallspänen im Ölfilter
- Getriebeschaden
- Triebwerksausfall auf Grund eines losen Fittings einer Ölleitung
- Verlust von Kühlflüssigkeit
- Verlust von Getriebeöl
- Triebwerksausfall nach dem Versagen eines Nadellagers am Starter
- Ausfall einer Triebwerkskupplung
- Leistungsverlust auf Grund eines gebrochenen Zylinderventils



OMF 135_lrg_ba_35

- Verlust von Getriebeöl
- Ausfall der Hauptbatterie
- Treibstoffleck bei einem Triebwerk
- Zusammenfallen des Zusatztanks (mehrmals)
- Defekt der flexiblen Tankverbindung
- Blitzschlag -----
- Gebrochener Sicherungsring
- Gebrochene Klammer
- Gebrochene Tankhalterung
- Brand im Kabelbaum
- Defekt im Kabelbaum
- Gebrochenes Verbindungsstück
- Defekt am Propeller
- Leistungsabfall eines Triebwerks während des Fluges
- Einfahren des Fahrwerks bei der Landung mit derzeit unbekannter Ursache
- Abstellen eines Triebwerks nach Feuermeldung mit derzeit unbekannter Ursache



¹An Kolbenmotoren für Luftfahrzeuge nach CS-23 werden signifikant niedrigere Anforderungen als beispielsweise an Strahltriebwerke für Verkehrsflugzeuge gestellt.

²Antwort von Werner Faymann, Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie von Österreich vom 11.01.2008 (GZ. BMVIT-9.500/0005-1/PR3/2007 DVR:0000175) auf die schriftliche Anfrage von Mag. Ewald Stadler et al. (Nr.2065/J-NR2007) vom 14.11.2007.

³Die ECU = Engine Control Unit wird von Thielert nicht ganz korrekt als FADEC bezeichnet.

Die weitaus meisten der veröffentlichten Ursachen sind nicht spezifisch für die CommonRail-Technologie und ihrer elektronischen Steuerungen. Auf die Zwischenfälle, denen eine elektrische oder elektronische Ursache zugrunde liegen könnte, soll im Folgenden näher eingegangen werden.

Blitzschlag ist für Flugzeuge noch immer eine schwer zu beherrschende Herausforderung. Die Tatsache, dass Flugzeuge gleicher Bauart einen Blitzschlag häufig relativ unbeschadet überstehen, andererseits ernsthafte Beschädigungen erleiden oder gar abstürzen, hat seine Ursache in den unterschiedlichen Blitzarten.

Über 90 % aller Blitze sind so genannte „Negativblitze“ mit einer Stromstärke von rund 20.000 A. Bei den restlichen 10 bis 20 % handelt es sich um „Positivblitze“, die eine Stromstärke von mehreren 100.000 A besitzen. Ein Stromfluss von 200.000 bis 300.000 A hinterlässt selbst an einer Aluminium-Außenhaut Spuren und kann zerstörerisch auf Verbindungsteile einwirken. Die elektromagnetischen Felder, die durch den Blitz induziert werden, wachsen proportional zur Stromstärke. Daraus folgt, dass die Abschirmungsmaßnahmen für die Elektrik und Elektronik des Luftfahrzeugs auf Resistenz gegenüber Positivblitzen ausgelegt werden müssen⁵.

→ Fortsetzung auf Seite 20

Claus-Dieter Bäumer, Dipl.-Ing.

von der Handelskammer Hamburg
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Schadensbeurteilung und Bewertung von
Luftfahrzeugen bis 5,7 t. MTOW
Telefon: (+49) 40- 410 21 46
Fax: (+49) 40- 44 80 95 89

E-Mail: claus.baeumer@baeumer-luftfahrt.de

Klaus-Rudolf Kelber

Diplom-Finanzwirt und Steuerberater

Mandantenorientierte
und individuelle Betreuung
ist seit 1980 unser Ziel.



Schwerpunkte:

- Betreuung von Familienunternehmen
- Luftfahrtbranche
- Rating Advisor
- Unternehmer-Coaching
- Existenzgründungsberatung
- Seminare
- Organisation des Rechnungswesens
- Steuerstrafrecht
- Umwandlung und Nachfolgeregelung

Bergstraße 9a • 24558 Henstedt-Ulzburg
Telefon 04193-92073 • Telefax 04193-93277

E-Mail: Klaus-Rudolf@Kelber-Steuerberater.de
Internet: www.Kelber-Steuerberater.de

→ Fortsetzung von Seite 19

⁴ Eine Gewitterwolke ist im Normalfall im unteren Teil negativ, im kalten oberen Teil positiv geladen. Deshalb sind rund 95% aller Blitze zwischen Wolke und Erdboden „Negativblitze“ mit einer Stromstärke von etwa 20.000 A.

Diese Ladungsverteilung ist aber von der Art (Front-, Wärmegewitter) und dem Reifestadium abhängig. So können positive Ladungen weit in den unteren Wolkenbereich reichen und induzieren am Boden entsprechend eine negative Ladung. Wenn es jetzt im oberen, positiven Bereich der Gewitterwolke zu einer Entladung kommt, dann kann solch ein „Positivblitz“ nicht nur durch die Wolke, sondern auch außerhalb der Wolke in den negativ geladenen Boden schlagen.

Da diese „Positivblitze“ mit 300.000 A wesentlich stärker sind als normale „Negativblitze“, einen längeren Weg zurücklegen und deshalb auch länger dauern, sind sie für Flugzeuge bedeutend gefährlicher als normale „Negativblitze“, auch wenn sie nur rund 5 % aller Erdblitzschläge ausmachen.

(Die Autoren danken Dieter Walch und Siegfried Niedeck für diese Erläuterung)

In Flugzeugen aus Verbundwerkstoffen sind für den Blitzschutz leitfähige Gewebe integriert, so dass auch sie wie ein Faraday'scher Käfig wirken. Allerdings können durch den hohen Stromfluss Schäden an der äußeren Struktur auftreten⁶. Außerdem ist es möglich, dass durch induzierte Transienten bei ungenügender Lightning Protection Schäden an der Motorelektronik und am Glascockpit entstehen. Trotz des Absturzes der DA-42 im April dieses Jahres und der in den „Zwischenfällen“ aufgeführte Blitzschlag sind beide Vorkommnisse kein Hinweis darauf, dass Kolbenmotoren mit elektronischer Steuerung per se bei Blitzschlag zum Absturz des Flugzeugs führen. Notwendig ist vielmehr, wie ausgeführt, eine ausreichende Lightning Protection, über die auch die elektronisch gesteuerten Turbojets und Turboprops verfügen.

Für einen Brand im Kabelbaum gibt es drei wesentliche Ursachen: Falsche Dimensionierung des Leitungsquerschnitts, falsche Absicherung oder Fehler bei der konstruktiven Gestaltung bzw. Verlegung (Zerstörung der Isolation durch mechanischen Abrieb). Ein Defekt im Kabelbaum ist meist auf Fehler bei der Montage zurückzuführen. Derartige Fehler sind nicht dieseltypisch, sondern auf Mängel in Konstruktion oder Montage zurückzuführen und betreffen nicht den Bereich der Elektrik, sondern können in allen Ingenieursdisziplinen vorkommen, wie die Auflistung der Zwischenfälle beweist.

Die Hauptbatterie eines Flugzeugs wird nur beim Start und zum Puffern von Spitzenbelastungen des Bordnetzes, wie z.B. beim Ein- und Ausfahren des Fahrwerks, benötigt. Während des Fluges soll sie eine Notversorgung mit elektrischer Energie sicherstellen, wenn die Generatoren ausgefallen sein

sollten. Natürlich sollte die Hauptbatterie nicht ausfallen. Ein Ausfall stellt aber während des Flugs im Prinzip kein Problem dar, da bei laufendem Motor (und bei Windmilling, falls der Motor zusätzlich ausgefallen ist) der Generator das Bordnetz mit Spannung versorgt. Sinnvoll und eine deutliche Verbesserung der Sicherheit wäre zweifellos der Einsatz eines intelligenten Batteriesensors, der den Ladezustand (State of Charge) und die „Gesundheit“ (State of Health) der Batterie überprüft, damit der Pilot nötigenfalls schon bei den Startvorbereitungen gewarnt werden kann⁷.



TAE 4.0_2_Irg_ba_16

⁵Die Prüfvorschriften für Lightning Protection sind in Section 22 der DO-160E festgelegt

⁶Die Ursache für den durch einen Blitzschlag hervorgerufenen Absturz einer DA-42 im April dieses Jahres bei Jechtingen am Kaiserstuhl ist noch nicht endgültig geklärt. Die BFU hat zunächst die Schäden am Leitwerk, insbesondere der Höhenruderrflosse als eine Ursache für den Absturz identifiziert. Allerdings lässt der Hinweis auf „geringfügige Beschädigung“ der FADEC den Verdacht auf ungenügende Lightning Protection zu. (Bulletin der BFU, April 2008)

⁷Bei modernen PKWs der gehobenen Klasse ist der Einsatz derartiger Batteriesensoren state of the art. Ein schöner Beweis dafür, dass die Luftfahrt aus automobiler Entwicklung Nutzen ziehen kann.

⁸Die Motorsteuerung benötigt den Umgebungsdruck um den Motor in der Höhe richtig zu steuern.

Bei einem Eindringen von Wasser in die ECU ist ein Fehlverhalten der Elektronik die fast unausweichliche Folge. Da der Luftdrucksensor⁸ beim Steuergerät der Centurion®-Motoren innerhalb des Gehäuses der ECU untergebracht ist, muss ein Druckausgleich mit der Umgebung erfolgen. Selbst beim Einsatz von „wasserdichten“ Ventilen, kann bei Unterdruck in der ECU Wasser in das Gehäuse des Steuergeräts gelangen. Dies lässt sich nur durch Messung des Atmosphärendrucks mittels externer Sensoren und/oder eine absolut wasserfreie Einbaulage vermeiden. Dabei wäre insbesondere die Möglichkeit der Taubildung in der Umgebung der ECU zu berücksichtigen.

Bei der Betrachtung der anderen Zwischenfälle wird ersichtlich, dass sie nicht spezifisch für CommonRail-Motoren sind, sondern auf Schwächen in Konstruktion, Montage und Wartung hinweisen. Fehler bei Montage und Wartung sind auch bei bewährter Motortechnik nicht zu vermeiden.

Die erste Kundenauslieferung der DA-42 erfolgte Ende März 2005, die Auflistung von 42 Zwischenfällen und 4 Abstürzen datiert vom Januar 2008⁹. Zweifellos sind 47 ernsthafte Defekte in einem Zeitraum von 3 Jahren Anlass, über die Zuverlässigkeit des Fluggeräts nachzudenken. Für die Regierung von Österreich und die Behörde war dies zumindest Anlass, ein Projekt zu initiieren, um diese Zwischenfälle zu untersuchen¹⁰.

Fairerweise muss man aber die Zahl von 42 Zwischenfällen und 5 Abstürzen auch in Relation zur Anzahl der gesamten ausgelieferten Flugzeuge stellen. Der große Verkaufserfolg der DA-42 hat natürlich auch eine gegenüber anderen Flugzeugtypen höhere Zahl von Störungen zur Folge. Dazu kommt, dass die neue Technologie der CommonRail-Motoren bei Details in der Konstruktion Verbesserungen bedarf, denn durch Testläufe auf Motor- und Propellerprüfständen lassen sich Flugerfahrungen nicht ersetzen. Neben Wartungsfehlern, die nicht der Motortechnik an sich angelastet werden können, fallen die nicht besprochenen Zwischenfälle unter diese Rubrik.

Als Fazit kann festgestellt werden, dass modifizierte PKW-Dieselmotoren mit Common-Rail-Technologie durchaus den Anforderungen der Luftfahrt gewachsen sind. In folgenden Beiträgen soll die moderne Dieselmotortechnik und auch die luftfahrtgerechte Softwareentwicklung¹¹ dargestellt werden.

(Wird fortgesetzt)

⁹Dazu kommt der Absturz der DA-42 in Jechtingen im April dieses Jahres

¹⁰Aus der Antwort von Bundesminister Faymann auf die Anfrage von Stadler et al.:

Frage 11:

Welche Schritte werden Sie setzen, um in Zukunft Ihrer Aufsichtspflicht besser nachzukommen?

Antwort:

Es wurde in Zusammenarbeit mit EASA ein Projekt gestartet, im Zuge dessen eine detaillierte Analyse der Zwischenfälle, in die Luftfahrzeuge der Type DA-42 involviert sind, durchgeführt wird.

¹¹Die Behörden haben die Methoden der Softwareentwicklung mit RTCA DO-178B vorgegeben.