

BRANDSCHUTZ UND BRANDBEKÄMPFUNG IM FLUGZEUG – VERGANGENHEIT / GEGENWART / ZUKUNFT –

K. Kallergis / R. Beuermann
Airbus
Bremen, D-28199
Deutschland

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein Überblick über die Brandbekämpfung im Flugzeug für die Bereiche der Kabine und des Frachtraumes gegeben. Beginnend mit einem Abriss über die Entstehungsorte von Bränden wird über den kommerziellen Einsatz der Halone für Löschanwendungen im Kabinen- und Frachtraumbereich der modernen großen Passagierflugzeuge die Brücke hin zu zukünftigen und umweltfreundlichen Feuerlöschkonzepten geschlagen. Darüber hinaus wird auf einzelne Brandunglücke eingegangen, die die Geschichte der Brandbekämpfung im Flugzeug nachhaltig beeinflusst haben.

1. EINFÜHRUNG

Das Szenario „Feuer an Bord“ ist mit derzeit mehr als tausend Vorfällen im Jahr [1] alles andere als vernachlässigbar. Immerhin jeder dritte Brand erreicht eine solche Größe, dass er zu einer unvorhergesehenen Landung oder sogar zur Notlandung des Flugzeugs führt. Zu einem unkontrollierbaren, katastrophalen Brand entwickeln sich jedoch nur die wenigsten Brände an Bord.

Das Verhindern und das Bekämpfen von Bränden ist schon seit den frühesten Tagen der motorisierten Luftfahrt eine Herausforderung an die Ingenieure. Besonders in Kriegszeiten, aber auch in der zivilen Luftfahrt, bedeutet der Aufenthalt in der Luft, zumeist fernab einer kurzfristig erreichbaren sicheren Landemöglichkeit, der Transport größerer Mengen brennbarer Stoffe bei gleichzeitigem Vorhandensein von Zündquellen eine Gefahr, der durch konstruktive Maßnahmen begegnet werden muss.

Die Brandbekämpfung und -verhinderung im Flugzeug ruht auf mehreren Pfeilern. Neben Maßnahmen zum passiven Brandschutz, wie etwa der Einsatz schwer entflammbarer Materialien sowie den Prozeduren, die im Fall eines Brandes einzuhalten sind, ist hier der aktive Brandschutz (Branderkennung und Brandunterdrückung) zu nennen. Die Geschichte des aktiven Brandschutzes in der motorisierten Luftfahrt ist auch die Geschichte einer einzigartigen Gruppe von Löschmitteln, den Halonen. Als Halone werden teil- oder vollständig halogenierte Kohlenwasserstoffe bezeichnet, vorwiegend Methan und Ethan, in neuerer Zeit auch Propan.

Wird in der Literatur von einem Zeitraum der letzten dreißig bis vierzig Jahre gesprochen, in denen die Feuerlöschung in der Luftfahrt auf den Halonen als Löschmittel basierte, so gilt dies nur für die Halone der aktuellen Löschmittelgeneration, nämlich Halon 1211 (Bromchlorfluormethan) und Halon 1301 (Bromtrifluormethan). Die Erfolgsgeschichte dieser Löschmittel ist jedoch wesentlich älter, denn halogenierte Kohlenwasserstoffe kamen bereits vor dem zweiten Weltkrieg zur Feuerlöschung in Flugzeugen zum Einsatz.

Dies geschah zunächst auf dem militärischen Sektor, später, mit dem rasanten Ansteigen der Passagierzahlen des zivilen Luftverkehrs, auch in Passagierflugzeugen.

Das Auftreten von Bränden im Flugzeug ist dabei stetig rückläufig, werden die in Kriegszeiten durch Beschuss hervorgerufenen Brände ausgeklammert. In den Jahren 1987 bis 2004 nahm das Vorkommnis „Feuer an Bord“ hinter „Controlled Flight Into Terrain“, „Verlust der Flugsteuerung“ und „Systemversagen“ noch den vierten Platz in der ICAO Statistik für die Ursache schwerer Zwischenfälle ein [2]. Neuere Daten belegen, dass Brände an Bord von Flugzeugen heute nur noch eine untergeordnete Rolle spielen [3]. Dies zeigt, wie sehr die Weiterentwicklungen sowohl im passiven als auch im aktiven Brandschutz die Sicherheit des Flugzeugs und der Passagiere angehoben haben. Nichtsdestotrotz ist ein Brand an Bord eines Flugzeugs aufgrund der begrenzten Mittel zur Brandbekämpfung und der notwendigen Zeit bis zum Erreichen eines sicheren Landeorts ein Szenario, welches mit allen notwendigen Anstrengungen ausgeschlossen werden muss. Was die Räume im Flugzeug angeht, in denen Brände entstehen, so ist festzustellen, dass die Mehrheit aller Brandvorkommnisse in die Kategorie Triebwerksbrand fällt, wogegen etwa Brände im Frachtraum selten auftreten. In Bild 1 ist eine Statistik aufgetragen, die die Entstehungsorte von Bränden im Flugzeug für den zivilen Bereich [4] wiedergibt.

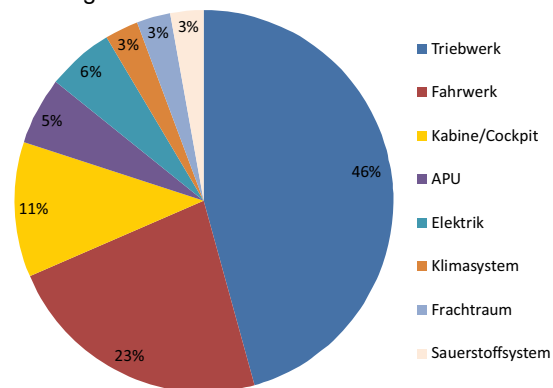


BILD 1. Brandvorkommnisse nach Entstehungsort, zivil

2. FRACHTRAUM

2.1. Frachtraumbrände

Moderne Passagierflugzeuge besitzen in der Regel zwei Frachträume im Unterflurbereich, die durch den Flügelkasten voneinander getrennt sind. Der hintere Teil des hinteren Frachtraums ist häufig losen oder „last minute“ Gepäck vorbehalten und wird „Bulk Compartment“ genannt, siehe Bild 2. Eine feste Trennwand zum hinteren Frachtraum existiert dabei üblicherweise nicht.



BILD 2. Lage der Frachträume im Passagierflugzeug

Brände innerhalb des Frachtraums entstehen im Allgemeinen durch Entzündung der Ladung, etwa durch Feuerzeuge oder Zündhölzer. Zumeist liegt bei Frachtraumbränden ein glutbildender Brand der Brandklasse A vor, seltener der Brandklasse B (Flüssigkeitsbrand). Kommt es in diesem Fall nicht zu einer Löschung oder Unterdrückung, können aufgrund der großen Brandlast Brände großer Intensität entstehen.

Der bislang schwerste Brand im Frachtraum eines Flugzeugs war der Ausbruch eines Feuers im „Bulk Compartment“ einer Lockheed L-1011 der Saudi Arabian Airlines kurz nach dem Start in Riad, Saudi Arabien, am 19. August 1980, [5]. Die Frachträume dieses Flugzeugs waren mit Brandmeldern ausgestattet, jedoch nicht mit einem Unterdrückungssystem (Klasse „D“ Frachtraum, siehe Kap. 2.2). Sieben Minuten nach der erfolgten Brandmeldung ins Cockpit gelangten Rauchgase aus dem Frachtraum in die Kabine und Panik setzte ein. Zehn Minuten nach Ausbruch des Brandes kam es zum Durchbrand aus dem Frachtraum in den hinteren Teil der Passagierkabine sowie zu Problemen mit der Drosselung von Triebwerk Nr. 2 (unterhalb des Leitwerks). Einundzwanzig Minuten nach Ausbruch des Feuers und nach Abschaltung des Triebwerks Nr. 2 gelang es der Crew, das Flugzeug sicher wieder in Riad zu landen. Anschließend rollte das Flugzeug minutenlang auf „Runway“ und „Taxiway“. Eine Evakuierung fand nicht statt. Es ist davon auszugehen, dass durch die sich in der Kabine ausbreitenden Rauchgase und/oder infolge Sauerstoffmangels Passagiere und Crew zu diesem Zeitpunkt handlungsunfähig (narkotisiert) oder bereits tot waren. Es dauerte nach der Landung fast dreißig Minuten, bis es der Rettungsmannschaft gelang, eine der Kabinentüren zu öffnen. Infolge der Sauerstoffzufuhr durch das Öffnen der Tür kam es kurz darauf zum Durchzündeln noch unverbrannter Rauchgase in der Kabine und zum

Ausbrennen derselben, siehe Bild 3. Alle 301 Insassen des Flugzeugs verloren bei diesem Brand ihr Leben. Sie waren vermutlich lange vor Eintreffen der Rettungsmannschaft tot.



BILD 3. Unfall der Saudi Arabian Airlines, Riad, 1980

2.2. Frachtraumfeuerlöschung

Mit Beginn der frühen Jahren nach dem zweiten Weltkrieg, in der beginnenden Ära der zivilen Strahlflugzeuge und in einer Zeit immer komplexer werdender Flugzeugsysteme, nahm der Frachtraumbrandschutz einen zunehmend höheren Stellenwert ein. Mit steigender Komplexität wurde eine frühzeitige Erkennung und unmittelbare Bekämpfung eines Brandes immer wichtiger, um den Schutz des Flugzeugs und seiner Insassen vor den Folgen eines Frachtraumbrandes sicherzustellen.

Verschiedene bereits existierende Regularien wurden im Jahre 1946 vom U.S. Department of Transportation zu zunächst drei Frachtraumklassifizierungen „A“, „B“ und „C“ vereinheitlicht [6]. Die Frachtraumklasse „C“ beschreibt dabei die bis heute weltweit gültige Standardklassifikation für die Unterflurfrachträume von Passagierflugzeugen. Diese umfasst unter anderem ein durchbrandsicheres Verkleidungsmaterial (Lining), eine abschaltbare Ventilation, ein Brandmeldesystem und eine Brandunterdrückungsanlage.

Bevor die Frachtraumklasse „C“ zum weltweiten Standard wurde, sollten jedoch noch über fünfzig Jahre vergehen. So wurde zunächst im Jahre 1950 vom Civil Aeronautics Board der U.S.A. als vierte Klasse die Frachtraumklasse „D“ etabliert [7]. Wirksam wurde sie im Jahre 1952. Ein Frachtraum der Klasse „D“ umfasste unter anderem ein durchbrandsicheres Lining und eine abschaltbare Ventilation. In der ursprünglichen Fassung waren auch Branddetektion und Brandunterdrückung vorgesehen, beide Punkte wurden jedoch zugunsten einer Restriktion des verfügbaren Sauerstoffs zur Unterstützung der Selbstverlöschung eines Brandes wieder gestrichen. Nach den Lehren, die man aus Unfällen aufgrund von Frachtraumfeuern zog, wurde die maximale Größe eines Klasse „D“ Frachtraums von zunächst 2.000 cubic foot (ca. 56,6 m³) im Jahre 1986 auf nur noch 1.000 cubic foot verringert [8].

Mit der vierstrahligen Douglas DC-8, siehe Bild 4, die 1958 ihren Erstflug absolvierte, wurde erstmals die Frachtraumklasse „D“ in einem Flugzeug eingeführt.



BILD 4. Douglas DC-8

Die Umsetzung der Anforderungen der Frachtraumklasse „C“ erfolgte erst zwölf Jahre nach ihrer Veröffentlichung im Jahr 1946. Sie galt für alle turbinengetriebenen Verkehrsflugzeuge, die nach dem 1. Januar 1958 ihre „Type Certification“ erlangten [6]. Die Frachtraumklasse „D“ für Frachträume mit einem kleineren Volumen als 2.000 cubic foot behielt jedoch zunächst weiterhin ihre Gültigkeit.

Das erste Flugzeug, welches die Frachtraumklassifikation „C“ erfüllte, also sowohl mit Branddetektion als auch Unterdrückungsanlage ausgestattete Frachträume besaß, war die McDonnell Douglas DC-10, siehe Bild 5. Dieses dreistrahlige Langstrecken Passagierflugzeug absolvierte im Jahr 1970 seinen Erstflug.



BILD 5. McDonnell Douglas DC-10

In der Folge der DC-10 waren alle großen Verkehrsflugzeuge mit entsprechend großen Unterflurfrachträumen sowohl mit Rauchmeldern als auch Brandunterdrückungsanlagen ausgerüstet. Als Löschmittel kam jeweils Bromtrifluormethan (Halon 1301) zum Einsatz. Flugzeuge mit kleineren Frachträumen als zunächst 2.000, später 1.000 cubic feet, konnten weiterhin mit Frachträumen betrieben werden, die der Klasse „D“ genügten. In Tabelle 1 sind die Klassifizierungen ziviler Flugzeugfrachträume im Überblick dargestellt.

Ein bekannter und folgenreicher Vorfall war der Brand im Frachtraum einer McDonnell Douglas DC-9 der ValuJet Airlines am 11. Mai 1996 bei Miami, Florida, U.S.A. Brandursache war hier die Entzündung von unsachgemäß im unteren Frachtraum transportierten chemischen Sauerstoffgeneratoren für die Sauerstoffmasken von Passagierflugzeugen. In Folge dieses sich rasch ausbreitenden Brandes kam es zum Durchbrand vom Frachtraum in die Passagierkabine. Zehn Minuten nach dem Start in Miami stürzte das Flugzeug nahezu senkrecht in die Everglades und zerbarst. Alle 110 Menschen an Bord verloren ihr Leben [9].

Klasse/ Eigenschaft	Größe beschränkt	Zugänglich	Durchbrand- sicher	Ventilation kontrollierbar	Detektion	Löschsystem
A	X	X				
B	X	X	X		X	
C			X	X	X	X
D	X		X	X		
E				X	X	

TAB1. Übersicht über Frachtraumklassen

Als eine Folge des ValuJet Unfalls von 1996 und auch vor dem Hintergrund einer Häufung von Frachtraumbränden generell, die zum Teil auch zum Verlust des Flugzeugs führten, empfahl das U.S. National Transportation Safety Board NTSB der Federal Aviation Administration (FAA), für alle Klasse „D“ Frachträume, also Frachträume ohne Branddetektion und Feuerlöschung, eben solche Systeme vorzuschreiben. Die FAA folgte dieser Empfehlung und entschied im Jahr 1997, die Klasse „D“ zu verbieten. Dieses Verbot wurde 1998 offiziellisiert und setzte Herstellern und Fluglinien eine Frist bis zum Jahr 2001, alle verbliebenen Flugzeuge mit Klasse „D“ Frachträumen auf die Frachtraumklasse „C“ umzurüsten [10]. Hiervon waren etwa 3.300 Flugzeuge betroffen, primär die Boeing Modelle 727 und 737 sowie die Douglas Typen DC-8 und DC-9.

In Bild 6 ist die Frachtraum Brandunterdrückungsanlage eines modernen Passagierflugzeugs dargestellt. Sie unterdrückt Frachtraumbrände über eine Zeit von vier Stunden, indem nach der Aktivierung schlagartig eine löschrfähige Konzentration von Halon 1301 (5 Vol.%) aufgebaut wird (linker Feuerlöschbehälter). Über einen sekundären Halonbehälter (rechts im Bild) und ein System zur Volumenstrombegrenzung wird anschließend so viel Löschmittel in den Frachtraum geleitet, dass die unvermeidliche Leckage und damit der Verlust an Löschmittel ausgeglichen und die zur Langzeitunterdrückung des Brandes notwendige Halonkonzentration (3 Vol.%) bis zur Landung aufrecht erhalten wird.



BILD 6. Brandunterdrückungsanlage für den Frachtraum

3. KABINE

3.1. Kabinenbrände

Brände in der Kabine von modernen Passagierflugzeugen können vielfältig sein und lassen sich in eine Reihe von Kategorien einteilen. In Bild 7 werden die relativen Häufigkeiten von relevanten Kabinenbränden für im Vereinigten Königreich zugelassene Flugzeuge über die Jahre 2002 bis 2006 wiedergegeben [11].

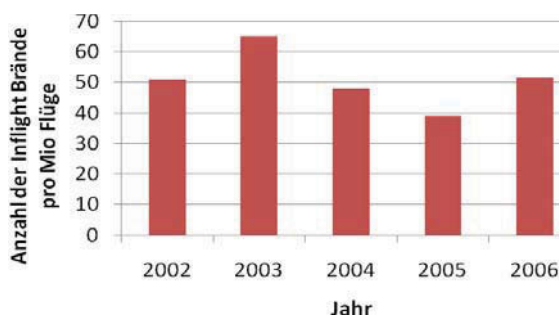


BILD 7. Anzahl der Inflight Brände im U.K. 2002-2006

Die Aufteilung dieser Brände auf die Brandentstehungsorte wird in Bild 8 dargestellt.

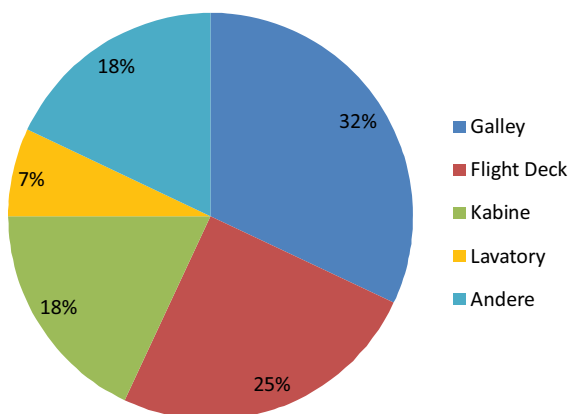


BILD 8. Brandentstehungsorte in der Kabine 2002-2006

Zur Bewertung der Entwicklung ist in Bild 9 eine ältere Statistik (1976-1981) anhand von Daten der U.S. FAA aufgetragen [12]. Es ist zu erkennen, dass die Brandquelle Küche (Galley) im Vergleich zu den fünfundzwanzig Jahre älteren Daten deutlich rückläufig ist. Dagegen kommt es zu einem relativen Anstieg beim Flight Deck und bei anderen Brandentstehungsorten wie etwa dem Overhead Bereich.

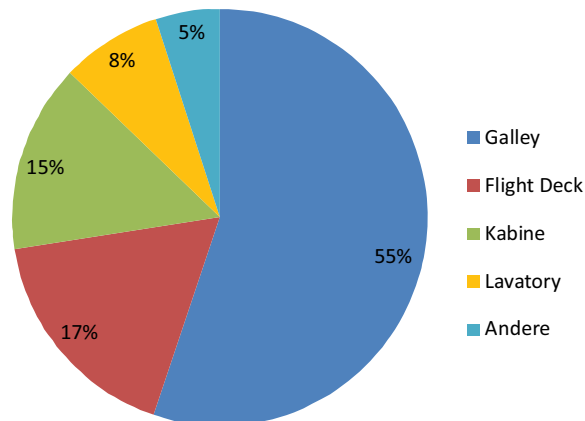


BILD 9. Brandentstehungsorte in der Kabine 1976-1981

Die gefährlichste Art von Kabinenbrand ist jedoch nicht an einen bestimmten Entstehungsort gebunden, sondern dies sind diejenigen Brände, die nicht bemerkt werden, die sogenannten „Hidden Fires“. Diese Brände entstehen im Verborgenen, z.B. in nicht permanent besetzten oder überwachten Räumen oder hinter der Kabinenverkleidung. Dort treffen sie möglicherweise auf eine hinreichende Brandlast, um sich vom Funken oder Glutnest über den Schmelbrand hin zum offenen Flammenbrand zu entwickeln.

3.1.1. Galley (Küchen) Brände

Ein Brand im Küchenbereich ist weltweit der häufigste Brandfall in der Kabine [13]. Dabei sind zumeist elektrische Geräte wie die Öfen involviert. Mögliche Ursachen sind unsachgemäßer Gebrauch, wie etwa die Nutzung eines Ofens zur Aufbewahrung von Unterlagen oder zum Trocknen von Schuhen, aber auch Überhitzung, Überlastung der Elektrik oder Kurzschluss. Neben den Öfen gibt es auch andere elektrische Geräte im Küchenbereich, wie Kaffee- oder Wasserkocher, bei denen es zu Bränden kommen kann, wenn sie ohne Wasser betrieben werden.

3.1.2. Elektrikbrände

Brände in der Flugzeugelektrik können durch Kurzschlüsse oder beschädigte Kabel entstehen. Prinzipiell lassen sich solche Brände leicht unter Kontrolle bringen, indem die entsprechende Stromversorgung unterbrochen wird. Problematisch kann ein solcher Brand dann werden, wenn die Quelle entweder nicht gefunden wird oder nicht zugänglich ist (hidden fire). In einem solchen Fall kann ein Funken aus einem defekten Kabel zum Totalverlust des Flugzeugs führen.

Als Beispiel für einen schwerwiegenden Elektrikbrand sei hier der Brand im bordeigenen Unterhaltungssystem

(Inflight Entertainment Network IFEN, hinter dem Cockpit, siehe Bild 10) einer McDonnell Douglas MD-11 der Swiss Air am 2. September 1998 vor der Küste von Nova Scotia, Kanada, genannt [14].

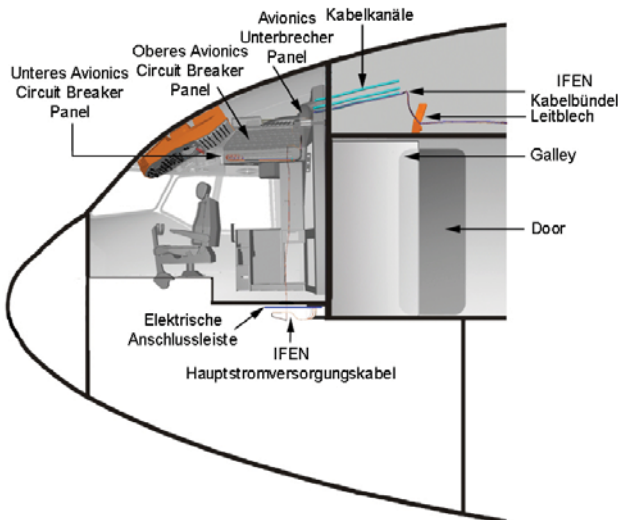


BILD 10. Flug SR111 - Brand im IFEN, nach [13]

Die Ursache dieses Unglücks war mit hoher Wahrscheinlichkeit die gebrochene Isolierung eines Kupferkabels, was einen Kurzschluss zur Folge hatte, der benachbartes Dämm-Material entzündete. Es kam in der Folge zu einem unkontrollierbaren Brand mit starker Wärme- und Rauchgasentwicklung. Infolge des Brandes verlor die Crew durch Ausfall der Instrumente die Kontrolle über das Flugzeug, das etwa zwanzig Minuten nach dem ersten Bemerkten von Brandgeruch ins Meer stürzte. Alle 215 Passagiere und 14 Besatzungsmitglieder kamen beim Absturz ums Leben. Die Untersuchung des Unglücks dauerte über vier Jahre und kostete 39 Millionen Dollar. Zeitweise waren mehr als 4.000 Menschen mit der Bergung tausender von Wrackteilen aus 55 Metern Wassertiefe beschäftigt.

Als Folge dieses Unfalls empfahl das kanadische Transportation Safety Board unter anderem den Einsatz von Brandmeldern und Löschsystemen in nicht zugänglichen Bereichen des Flugzeugs, neue Standards zum Nachweis der Feuerfestigkeit von Materialien und verbesserte Wartungs- und Inspektionsprozeduren für elektrische Leitungen.

Der bekannteste Fall eines Brandes im unzugänglichen Teil der Kabine, der dennoch erfolgreich bekämpft wurde, geschah am 17. März 1991. Während des Fluges einer Lockheed L-1011 der Delta Airlines von Frankfurt/Deutschland nach Atlanta/U.S.A. kam es in der Passagierkabine zu einem Elektrikbrand hinter der Seitenverkleidung in Höhe des Kabinenfußbodens. Rauch und Flammen drangen in die Kabine ein. Eine Stewardess war so geistesgegenwärtig, sofort einen Handfeuerlöscher mit Halon 1211 durch die Belüftungsöffnungen an der Basis des Kabinenlinings blind in die „Cheek Area“, den Bereich zwischen Lining und Außenhülle unterhalb des Kabinenfußbodens, zu entleeren, siehe Bild 11. Das Flugzeug konnte sicher in Goose Bay, Kanada, notlanden. Es gab keine Verletzten.



BILD 11. Hidden Fire

Die Untersuchung dieses Vorfalles ergab, dass der Brand durch Verschmutzung infolge der Flugzeugalterung begünstigt wurde. Später wiesen Versuche der U.S. FAA nach, dass zwar neue Isolationsmaterialien im Flugzeug keinen Beitrag zur Brandausbreitung leisten, ältere und verschmutzte Materialien aber sehr wohl [15].

Gleichzeitig war dieses Brandgeschehen aber auch ein Beweis für die überragende Löschwirkung der Halone und ihre Fähigkeit (etwa im Gegensatz zu Pulver- oder Wasserlöschern), auch in verdeckten Bereichen zu wirken, die nicht unmittelbar mit Löschmittel beaufschlagt werden können.

Dieser Brand war Anlass für die Entwicklung des sogenannten Hidden Fire Tests [16], der seitdem zum vorgeschriebenen Zulassungsprogramm von Handfeuerlöschern für Luftfahrtanwendungen gehört.

3.2. Löschung von Kabinenbränden

In der Kabine des Flugzeugs existieren in der Regel weder Brandmelde- noch Löschsysteme. Ausnahmen sind hier die Toiletten und eventuell vorhandene Ruheräume, die nicht permanent von Personen belegt sind. Die Lösphilosophie in der Kabine stützt sich auf den Menschen. Es wird davon ausgegangen, dass jeglicher Brand im Kabinenbereich von Kabinenpersonal oder Passagieren detektiert, also gesehen oder gerochen wird. Das schnelle Wahrnehmen eines Brandes und die schnelle Bekämpfung sind wesentlich für die Sicherheit des Flugzeugs, denn auch ein kleines Feuer kann sich zu einem unkontrollierbaren Brand ausweiten, wenn es nicht bemerkt und folglich nicht bekämpft wird.

Für die Bekämpfung von Kabinenbränden existieren sowohl seitens der Flugzeughersteller als auch von Seiten der Luftfahrtbehörden Vorgaben für das Kabinenpersonal, siehe etwa [17] und [18]. Ein Ofenbrand in der Galley kann in der Regel wirksam durch schließen und geschlossen halten des Ofens sowie der Abschaltung der Stromversorgung bekämpft werden. Bei komplexeren Kabinenbränden, wie Sitzbränden und Bränden in den „Overhead Stowages“ oder Abfallbehältern, erfolgt die Löschung mittels Handfeuerlöschern. Der Kabinenbesatzung steht dafür Schutzbekleidung in Form von feuerfesten Handschuhen und Rauchhauben zur Verfügung.

Der erste Handfeuerlöscher für den Einsatz in Flugzeugen war der sogenannte Bromidlöscher [19], eine gemeinsame Entwicklung der deutschen Firmen Hoechst, Minimax und Junkers. Als Löschmittel kam aus der Gruppe der Bromide Chlorbrommethan (Halon 1011) zum Einsatz. Ab dem Jahr 1938 wurde dieser Handfeuerlöscher für Anwendungen von Luftwaffe und Marine erprobt.

Ab Ende der sechziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurde das Halon 1011 zugunsten des sowohl effektiveren als auch deutlich ungiftigeren Halon 1211 (Bromchlordifluormethan) [20] in Handfeuerlöschern für die Luftfahrt ersetzt. Das Halon 1211 ist bis heute im Einsatz, wenngleich dieses Löschmittel im Zuge der Umweltdiskussion seit Januar 1994 verboten und nur mittels Ausnahmeregelung [21] in Flugzeugen zur Anwendung kommt.

Zur Zeit werden unter der Führung der U.S. Federal Aviation Administration die gesetzlichen Anforderungen an Handfeuerlöscher überarbeitet, um die Grundlage für ein alternatives Löschmittel zum Halon 1211 zu schaffen. Als Mindestanforderung müssen neuartige Kombinationen von Löschmittel und Löschbehälter den Nachweis erbringen, dass sie eine dem Halon 1211 vergleichbare Effektivität erbringen. Zudem darf das Löschmittel weder an sich, noch als Pyrolyseprodukte (Zersetzungsprodukte bei thermochemischer Aufspaltung in der Flamme) gefährlich hohe Schadstoffkonzentrationen erzeugen.

Ein weltweit einheitliches Datum für den Ausstieg aus dem Halon 1211 in Handfeuerlöschern scheitert (ebenso wie beim Halon 1301 in Triebwerks- und Frachtraumanwendungen) bislang an unterschiedlichen Sichtweisen von Europäischer Kommission auf der einen und International Civil Aircraft Organization ICAO auf der anderen Seite.

Eine besondere brandtechnische Bedeutung kommt den Bränden von Lithiumbatterien oder Lithium Ionen Akkus tragbarer elektronischer Geräte zu. Beide können aufgrund von Überhitzung in Brand geraten und dabei so viel Wärme produzieren, dass auch benachbarte Batterien oder Akkus in Brand geraten. Es kann dabei zu heftigen Bränden mit kleineren Explosionen kommen. Zur Löschung eines solchen Brandes der Brandklasse D (Metallbrände) ist es nicht ausreichend, den Flammenbrand mittels Handfeuerlöscher zu löschen. Um ein Wiederaufflammen zu verhindern, muss das Gerät mit Wasser oder mit einer anderen nicht brennbaren Flüssigkeit gekühlt werden.

Im Jahr 2009 hat das U.S. Department of Transportation eine Sicherheitswarnung veröffentlicht [22], um die Flugzeugbetreiber auf diese Gefahr aufmerksam zu machen.

4. LAVATORIES

4.1. Toilettenbrände

Brände in den Flugzeugtoiletten (und hier zumeist in den Abfallbehältern der Toiletten) spielen statistisch eine eher untergeordnete Rolle. Die Auswirkungen eines solchen Brandes indes können groß sein, bis hin zum Totalverlust des Flugzeugs.

Die Hauptursache von Bränden in den Abfallbehältern der Toiletten sind glühende Zigaretten, die dort hineingeworfen werden [13]. Andere mögliche Brandquellen in der Toilette sind, wie auch im Übrigen Teil der Flugzeugkabine, schadhafte elektrische Geräte und Leitungen.

Die Toilette ist im Gegensatz zur Passagierkabine nicht permanent mit Personen besetzt. Die Ausstattung des Toilettenraums mit Rauchmeldern und automatische Löschanlagen für die Abfallbehälter sind jedoch erst seit 1987 vorgeschrieben [23]. In der Vergangenheit kam es immer wieder zu Bränden, die sich dort unbemerkt ausbreiten konnten. Insbesondere, wenn sie im Abfallbehälter entstanden, fanden sie genügend Brandlast vor, um sich von einem lokal begrenzten Glutbrand zu einem katastrophalen Feuer zu entwickeln.

Ein schwerer Brand dieser Kategorie, geschah am 2. Juni 1983. An Bord einer Air Canada McDonnell Douglas DC-9 kam es zu einem Toilettenbrand, der weitreichende Folgen hatte [24]. Auf dem Flug von Dallas/U.S.A. nach Montreal/Kanada kam es während des Reisefluges zur Entdeckung von Rauch in einer der hinteren Toiletten. Nach dem Versuch, das Feuer zu löschen, erklärte die Cockpit Crew den Notfall und leitete die Notlandung nahe Cincinnati ein. Die Flughafenwehr stand bei der Landung bereit und begann sofort nach der Landung mit den Löschmaßnahmen. Crew und Passagiere öffneten alle nicht im Bereich des Brandes liegenden Türen und begannen mit der Evakuierung. Etwa 60 bis 90 Sekunden nach Öffnung der Türen kam es zum Flashover in der Flugzeugkabine, das heißt, es kam zum Durchzünden der heißen Rauchsicht, die sich unterhalb der Decke gesammelt hatte und zum Entflammen aller brennbaren Oberflächen in der Kabine. Dreiundzwanzig der sechshundvierzig Passagiere starben durch Cyanid-, Fluorid- und Kohlenmonoxidvergiftung oder in den Flammen selbst. Das Flugzeug wurde völlig zerstört, siehe Bild 12.



BILD 12. Unfall der Air Canada bei Cincinnati, 1983

Das U.S. National Transportation Safety Board gab als Folge dieses Unglücks mehrere Sicherheitsempfehlungen an die Federal Aviation Administration heraus. Diese umfassten auch die Installation von Rauchmeldern in den Toiletten und von automatischen Löschanlagen in den Abfallbehältern. Im Jahr 1985 wurden diese Forderungen veröffentlicht und ab April 1987 gesetzlich umgesetzt [23], siehe folgendes Kapitel. Auch das Rauchen in Flugzeugen wurde im Zuge der sich an das Unglück anschließenden Diskussionen thematisiert. Die allmähliche Durchsetzung

des Rauchverbots in Flugzeugen begann wenig später mit dem ersten Verbot des Rauchens auf U.S. Inlandsflügen durch den U.S. Kongress im Jahre 1988.

4.2. Löschung von Toilettenbränden

Nach dem in Kap. 4.1 beschriebenen Unfall einer DC-9 der Air Canada im Juni des Jahres 1983 sowie einem weiteren Brand eines Toiletten-Abfallbehälters, ebenfalls an Bord einer DC-9 im Juni desselben Jahres [25], mussten ab dem 29. April 1987 alle Passagierflugzeuge mit automatischen Löschanlagen für die Abfallbehälter ausgestattet sein. Bis dahin galt eine seit 1974 gültige Lufttüchtigkeitsanweisung [26], die lediglich Rauchverbotsschilder in den Toiletten und entsprechende Durchsagen in der Kabine forderte. Darüber hinaus musste seinerzeit alle 1.000 Flugstunden die korrekte Funktion des Abfallbehälters überprüft werden.

Zunächst waren alle Systeme zur automatischen Löschung der Abfallbehälter, die sogenannten „Potty Bottles“ mit Halon 1301 ausgerüstet, siehe [Bild 13](#).



BILD 13. Potty Bottle

Diese Löschanlagen bestehen aus einem Löschmittelbehälter, in dem das Löschmittel unter Druck aufbewahrt wird. Die Aktivierung der Löschanlage und die Flutung des Abfallbehälters erfolgen automatisch über zwei Düsen, die durch thermische Sicherungen verschlossen sind. Die Sicherungen schmelzen bei einer gewissen Temperatur und geben die Rohrleitungen frei.

Im Zuge der Diskussion um die Abschaffung der ozonschädigenden Halone und auch im Wissen, dass die frühen Löschanlagen nicht in jedem Fall diese Art von Bränden vollständig löschten [15], erließen die Behörden auch für den Einsatz von „Potty Bottles“ Mindestanforderungen [27] zum Nachweis der Tauglichkeit.

Im Jahr 2001 haben zwei Löschmittel, HFC-227ea (Heptafluorpropan) und HFC-236fa (Hexafluorpropan), die Mindestanforderungen bestanden. Die deutsche Lufthansa setzte 2005 als weltweit erste Fluggesellschaft mit dem HFC-236fa ein nicht ozonschädigendes Löschmittel für ihre Bordtoiletten ein. Die Einführung geschah auf dem seinerzeit neuen Großraumflugzeug Airbus A340-600. Im Zuge der planmäßigen Wartungen hat die Lufthansa seitdem alle ihre Flugzeuge umgerüstet. Dieses Löschmittel ist inzwischen Standard in den Toiletten aller neuen Airbus Flugzeuge. Boeing begann 2006

flottenübergreifend mit dem Einsatz von HFC-227ea auf seinen neu produzierten Flugzeugen [28].

5. AUSBLICK

Die Geschichte des Brandschutzes im Bereich der Kabine und des Frachtraumes ist auch die Geschichte der Halone. Seit Jahrzehnten werden Halon erfolgreich und sicher für den Brandschutz im Bereich der Luftfahrt eingesetzt. Aufgrund der umweltschädlichen Eigenschaften der Halone, der derzeitigen und zukünftigen Gesetzgebung und der Verknappung der Verfügbarkeit von Halonen, bedingt durch das Produktionsverbot für Halone, wird diese Klasse der Löschmittel langfristig nicht mehr eingesetzt werden können.

Die Suche nach umweltfreundlichen Alternativen für die heute eingesetzten Halone 1211 und 1301 in den Löschsystemen von Flugzeugen scheint für die meisten Anwendungen abgeschlossen (Lavatory) oder unmittelbar vor dem Abschluss zu stehen (Triebwerk, Handfeuerlöscher). Die größte und komplexeste Anwendung jedoch, der Schutz des Frachtraums, ist bislang weiterhin auf den Einsatz des Halons 1301 angewiesen. Zu hoch ist bislang die Messlatte, die dieses Halon dank seiner überragenden Löschwirkung bei gleichzeitig geringer Toxizität vorgibt.

Weiterhin lässt die intensiver werdende Diskussion um den anthropogenen Treibhauseffekt erwarten, dass die heute sich im Einsatz befindenden oder dafür favorisierten alternativen Löschmittel nicht jahrzehntelang zur Verfügung stehen werden, wie dies bei den Halonen 1211 und 1301 der Fall war. Die meisten Alternativen besitzen zwar kein Potential zur Zerstörung des Ozons, tragen aber sehr wohl zum Treibhauseffekt bei.

Nach dem Verbot der Halone vom 1. Januar 1994 wird auch für den Anwendungsfall Frachtraum nach umweltschonenden Alternativen gesucht. Die Brandunterdrückungsanlage des Frachtraums stellt von allen Löschanwendungen im Flugzeug den komplexesten Fall dar, da sie gewährleisten muss, dass jeglicher Brand über eine Zeit von derzeit bis zu vier Stunden, je nach Mission des Flugzeugs, unterdrückt werden muss. Gleichzeitig ist die Löschmittelmasse, die für eine Frachtraum Brandunterdrückungsanlage benötigt wird, die mit Abstand größte von allen Anwendungen im Flugzeug.

Um den Sicherheitsstandard, den das Halon 1301 bietet, beizubehalten, existieren seitens der Luftfahrtbehörden sogenannte Mindeststandards für Frachtraumfeuerlöschanlagen [29], deren Erfüllung mit jeder möglichen Alternativtechnik nachgewiesen werden muss. Vier Brandszenarien müssen erfolgreich im Großversuch bekämpft werden: ein Flüssigkeitsbrand, ein Brand loser, glutbildender Ladung, ein Brand innerhalb eines Containers sowie der Brand einer Spraydose, wobei bei letzterem die Explosion der (simulierten) Spraydose verhindert werden muss.

Von den in den vergangenen Jahren diskutierten und getesteten Alternativlöschmitteln schieden die meisten aufgrund von im Vergleich zum Halon 1301 geringer Effektivität (gleichbedeutend mit hoher notwendiger Löschmittelmasse) oder Toxizität aus. Vielversprechend

erscheint heute einzig ein kombinierter Ansatz aus einem Medium, was den Brand schlagartig unterdrückt, etwa feinst vernebeltes Wasser, und einem anderen, gasförmigen Medium, welches die Inertisierung des Frachtraums über längere Zeit sicherstellt, etwa Stickstoff.

5.1. OBIGGS

Zur Optimierung der erforderlichen Masse werden seit einiger Zeit Möglichkeiten diskutiert, Löschmedien mit bordeigenen Mitteln zu gewinnen. Stickstoff oder präziser Luft mit einem so hohen Stickstoffanteil, dass sie inert ist, lässt sich beispielsweise mit einem Membransystem zur Luftstromauftrennung, dem sogenannten On-Board Inert Gas Generation System (OBIGGS), erzeugen. Diese Technik kommt schon heute in Militärflugzeugen zum Schutz von „Dry Bays“ gegen Explosion nach Beschuss zum Einsatz.

Das Prinzip zur Auftrennung eines Luftstroms in einen stickstoffreichen und einen sauerstoffreichen Strom ist in Bild 14 wiedergegeben.

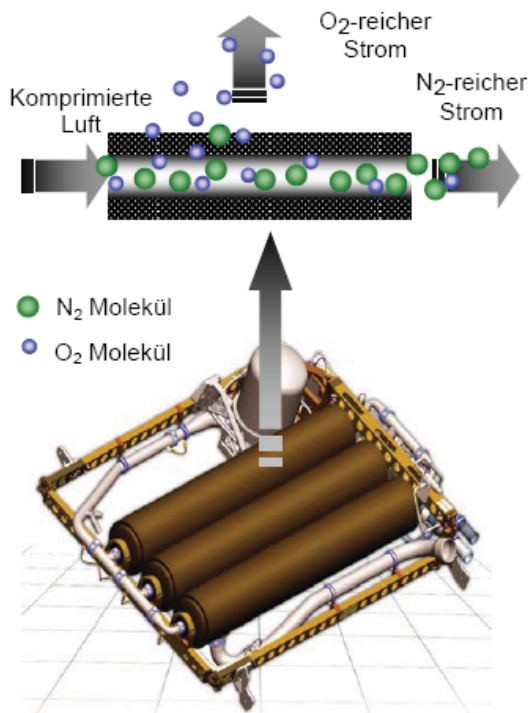


BILD 14. OBIGGS: Funktionsprinzip und Darstellung des Moduls

Komprimierte Luft, etwa aus der Triebwerkszapfluft (Engine Bleed Air) wird bei diesem Verfahren durch Hohlfiber-Membranen geleitet. Die kleineren Sauerstoffmoleküle durchdringen die Wände der Membranen, die größeren Stickstoffmoleküle passieren die Faser. So entstehen zwei Luftströme, von denen der stickstoffreiche inert ist.

5.2. Brennstoffzellen

Alle Prognosen sagen in den kommenden Jahren einen weiter zunehmenden Luftverkehr voraus. Bei Einsatz heutiger Systeme und Technologien, sowohl flugzeugseitig als auch im Bereich des Air Traffic Managements, wird dies auch zu einem Anstieg der Emissionen führen.

Airbus untersucht in Zusammenarbeit mit dem DLR den Einsatz der Brennstoffzellentechnologie mit dem Ziel, einen Teil der mit dem Anstieg verbundenen Emissionen zu reduzieren. Der Bezug des Einsatzes von Brennstoffzellen zum Brandschutz an Bord eines Flugzeuges ist dabei folgender. Brennstoffzellen „wandeln“ Wasserstoff und Sauerstoff in Strom und Wärme um, wobei als weiteres Produkt Wasser anfällt. Strom und Wärme können zur Stromversorgung von Systemen und im Bereich der Klimasysteme genutzt werden, das anfallende Wasser im Bereich der Bordtoiletten.

Kommt ein spezieller, mit Luft betriebener, Brennstoffzellentyp zum Einsatz, fällt während des Betriebes als Abfallprodukt ein sauerstoffarmes Abgas an. Dieses Brennstoffzellenabgas könnte für die Umsetzung von Brandschutzkonzepten, die auf dem Prinzip der Inertisierung beruhen, eingesetzt werden.

Der Einsatz der Brennstoffzellentechnologie könnte somit ein wichtiger Schritt in Richtung eines umweltverträglicheren Luftverkehrs sein und auch eine Rolle mit Bezug zum Thema Halonersatz spielen.

LITERATUR

- [1] On-board Fire Analysis: From January 2002 to December 2004 inclusive; International Air Transport Association; Author Doc 176; Quebec, Canada; 2005
- [2] Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959-2004; Boeing Commercial Airplanes; Aviation Safety; Seattle, Washington, U.S.A; May 2005
- [3] Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959 – 2008; Boeing Commercial Airplanes; Aviation Safety; Seattle, Washington, U.S.A.; July 2009
- [4] U.S. Air Carrier Accidents Involving Fire, 1965 through 1974 and Factors Affecting the Statistics; NTSB Special Study; Report Number NTSB-AAS-77-1; National Transportation Safety Board; Washington, D.C., U.S.A.; February 1977
- [5] <http://aviation-safety.net>
- [6] Code of Federal Regulations, Part 25; Docket No. 28937, Notice No. 97-10; U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration; RIN 2120-AG42; Revised Standards for Cargo or Baggage Compartments in Transport Category Airplanes; Washington, D.C., U.S.A.; June 1997
- [7] Civil Air Regulations Amendment 4b-6; United States of America, Civil Aeronautics Board; Washington, D.C., U.S.A.; July 1950
- [8] Code of Federal Regulations, Part 25; Amendment 25-60, 51 FR 18236; U.S. Department of Transportation; Washington, D.C., U.S.A.; May 1986
- [9] National Transportation Safety Board: Aircraft Accident Report: In-Flight Fire and Impact with Terrain, Valujet Airlines, Flight 59 DC-9-32, N904VJ, Everglades, Near Miami, Florida, May 11,1996; Report Number NTSB/AAR-97/06; Washington, D.C., U.S.A.; August 1997
- [10] Code of Federal Regulations, Part 25; Amendment 25-63, FR 8032 No. 31; U.S. Department of Transportation; Washington, D.C., U.S.A.; February 1998
- [11] Asmayawati, S., Butcher, N., Cherry, R.: Cabin Crew Fire Training; Civil Aviation Authority Paper No. 2009/01; London, U.K.; April 2009
- [12] Krasner, L.M.: Study of Hand-Held Fire Extinguishers Aboard Civil Aviation Aircraft; Report No. DOT/FAA/Ct-82/42; Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Atlantic City, New Jersey, U.S.A.; April 1982
- [13] <http://www.skybrary.aero>
- [14] Final Report of the Transportation Safety Board of Canada on the Accident to the Aircraft McDonnell Douglas MD-11, HB-IWF (SR111) on 2 September 1998 near Peggy's Cove, Nova Scotia (Canada); Report Number A98H0003; Federal Department of the Environment, Transport, Energy and Communication; Gatineau, Quebec, Canada; 2003
- [15] Blake, D.: Development and Growth of Inaccessible Aircraft Fires under Inflight Airflow Conditions; DOT/FAA/CT-91/2; Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Atlantic City, New Jersey, U.S.A.; February 1991
- [16] Chattaway, A.: The Development of a Hidden Fire Test for Aircraft Hand Extinguisher Applications; Civil Aviation Authority Paper No. 95013; London, U.K.; November 1995
- [17] Managing In-flight Fires; Flight Operation Briefing Notes; Airbus Customer Service; Toulouse, France; September 2006
- [18] Advisory Circular AC-20-42C: Hand Fire Extinguishers for Use in Aircraft; U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Washington, D.C., U.S.A.; March 1984
- [19] Zur Geschichte der Handfeuerlöscher und deren Löschmittel; Kölner Brandschutzservice; Köln, Deutschland; 2007

- [20] Van Stee, E.W.: A Review of the Toxicology of Halogenated Fire Extinguishing Agents; Aerospace Medical Research Laboratory; Wright-Patterson Airforce Base; Dayton, Ohio, U.S.A.; November 1974
- [21] Regulation (EC) No 2037/2000 of the European Parliament and of the Council of 29 June 2000 on Substances that Deplete the Ozone Layer; Official Journal of the European Communities; Brussels, Belgium; September 2000
- [22] Safety Alert for Operators: Fighting Fires Caused by Lithium Type Batteries in Portable Electronic Devices; Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Washington, D.C., U.S.A.; June 2009
- [23] Code of Federal Aviation Regulations, Part 121, Section 308 (b); U.S. Department of Transportation; Washington, D.C., U.S.A.; March 1985
- [24] Aircraft Accident Report- Air Canada McDonnell Douglas DC-9-32 C-FTLU, Greater Cincinnati International Airport, Covington, Kentucky, June 2, 1983; National Transportation Safety Board; Washington, D.C., U.S.A.; August 1984
- [25] Safety Recommendation A-83-46; National Transportation Safety Board; Washington, D.C., U.S.A.; July 1983
- [26] Airworthiness Directive AD 74-08-09; U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Washington, D.C., U.S.A.; 1974;
- [27] Marker, T.: Development of a Minimum Performance Standard for Lavatory Trash Receptacle Automatic Fire Extinguishers; DOT/FAA/AR-96/122; Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Atlantic City, New Jersey, U.S.A.; February 1997
- [28] Montreal Protocol On Substances that Deplete the Ozone Layer; United Nations Environment Programme (UNEP); 2006 Assessment Report of the Halons Technical Options Committee; Nairobi, Kenya; January 2007
- [29] Reinhardt, J.W.: Minimum Performance Standard for Aircraft Cargo Compartment Halon Replacement Fire Suppression Systems (2nd Update); DOT/FAA/AR-TN05/20; Department of Transportation, Federal Aviation Administration; Atlantic City, New Jersey, U.S.A.; June 2005

ABBILDUNGSNACHWEIS

BILD 2:	Airbus
BILD 3:	Federal Aviation Administration
BILD 4:	www.airliners.net , E. Marmet
BILD 5:	www.jetphotos.net , T. Woof
BILD 6:	Airbus
BILD 10:	Transportation Safety Board of Canada
BILD 11:	Federal Aviation Administration
BILD 12:	www.planecrashinfo.com
BILD 13:	Transair Pilot Shop
BILD 14:	Honeywell Aerospace