



ONDERZOEKSRaad
VOOR VEILIGHEID

Motorstoring tijdens initiële klimfase, Boeing 747-412BCF, Meerssen



Motorstoring tijdens initiële klimfase, Boeing 747-412BCF, Meerssen

Den Haag, april 2023

De rapporten van de Onderzoeksraad voor Veiligheid zijn openbaar en beschikbaar op www.onderzoeksraad.nl.

Foto cover: Maastricht Aachen Airport

De Onderzoeksraad voor Veiligheid

Als zich een ongeval of ramp voordoet, onderzoekt de Onderzoeksraad voor Veiligheid hoe dat heeft kunnen gebeuren, met als doel daar lessen uit te trekken. Op die manier draagt de Onderzoeksraad bij aan het verbeteren van de veiligheid van Nederland. De Onderzoeksraad is onafhankelijk en besluit zelf welke voorvallen hij onderzoekt. De Onderzoeksraad richt zich in het bijzonder op situaties waarin mensen voor hun persoonlijke veiligheid afhankelijk zijn van derden, zoals de overheid of bedrijven. In een aantal gevallen is de Raad verplicht onderzoek te doen. De onderzoeken gaan niet in op schuld of aansprakelijkheid.

Onderzoeksraad

Plv. voorzitter: prof. dr. mr. S. Zouridis
dr. E.A. Bakkum

Secretaris-directeur: mr. C.A.J.F. Verheij

Bezoekadres: Lange Voorhout 9
2514 EA Den Haag

Postadres: Postbus 95404
2509 CK Den Haag

Telefoon: 070 333 7000

Website: onderzoeksraad.nl

E-mail: info@onderzoeksraad.nl

N.B: Dit rapport is gepubliceerd in de Nederlandse en Engelse taal. In geval van verschil in interpretatie prevaleert het Engelse rapport.

Samenvatting	6
Aanbevelingen	8
Afkortingen	9
Algemeen overzicht	11
1 Inleiding	12
2 Feitelijke informatie	14
2.1 Vluchtverloop	14
2.2 Letsel aan personen	19
2.3 Schade aan het vliegtuig	19
2.4 Overige schade	19
2.5 Informatie over personeel	21
2.6 Informatie over het vliegtuig	22
2.7 Meteorologische informatie	24
2.8 Informatie over de luchthaven	24
2.9 Vluchtrecorders	25
2.10 Test en onderzoek	25
2.11 Organisatorische en managementinformatie	28
2.12 Aanvullende informatie	30
3 Analyse	37
3.1 De motorstoring	37
3.2 De motorstoring en externe veiligheid	39
4 Conclusies	42
5 Aanbevelingen	44
Appendix A Reacties op het conceptrapport	45
Appendix B In Meerssen gevonden turbinedelen	46
Appendix C Vluchtparameters vluchtdatarecorder	47

Appendix D Metallurgische analyse	49
Appendix E Berekening voor startprestaties	52
Appendix F Service bulletins en luchtwaardigheidsrichtlijnen	53

Op zaterdag 20 februari 2021 kreeg een Boeing 747-400 een motorstoring tijdens de initiële klimfase, na te zijn opgestegen van baan 21 van Maastricht Aachen Airport. Als gevolg van de motorstoring verloor de motor via de uitlaat motorbrokstukken die neerkwamen in het dorp Meerssen, gelegen op ca. 2 kilometer afstand van het zuidelijke uiteinde van baan 21. De brokstukken veroorzaakten letsel aan twee personen en schade aan eigendommen zoals huizen en auto's. Nadat de cockpitbemanning de motor had uitgeschakeld werd uitgeweken naar de luchthaven Luik (Liege Airport) in België, waar het toestel veilig landde.

De Onderzoeksraad voor Veiligheid heeft een onderzoek ingesteld naar de oorzaak van dit ernstige incident. Dit onderzoek beantwoordt de volgende twee vragen: (1) Wat was de oorzaak van de motorstoring? (2) Op welke manier wordt het risico van vallende motorbrokstukken voor mensen op de grond beheerst?

De Onderzoeksraad heeft het risico voor mensen op de grond onderzocht omdat de Raad brieven en e-mailberichten had ontvangen van inwoners waarin zorgen werden geuit over de veiligheid met betrekking tot de luchthaven. In deze correspondentie kwam tevens naar voren dat er letsel en schade was ontstaan als gevolg van het voorval. De inwoners zijn voor hun veiligheid afhankelijk van de manier waarop de overheid de risico's ten aanzien van Maastricht Aachen Airport beheerst. De inwoners ervoeren de locatie van de luchthaven als onveilig omdat die zich tussen verschillende woongebieden bevindt en wordt gebruikt voor commercieel luchtvervoer, waaronder vluchten met zware vrachtvliegtuigen. Het in dit rapport beschreven ernstige incident heeft het gevoel van onveiligheid versterkt.

Uit het onderzoek naar dit ernstige incident bleek dat in de turbine van motor nummer één van het betreffende toestel een defect optrad. De oorzaak van deze motorstoring was de blootstelling van de hogedrukturbine aan gassen met hoge temperatuur gedurende een lange periode. Dit leidde tot slijtage en vervorming van de panelen van de buitenste overgangskanalen. Hierdoor raakte een van die panelen los en scheurde een tweede paneel waardoor de turbine zwaar werd beschadigd. Als gevolg hiervan werden brokstukken van de motor – onderdelen van de turbine – via de uitlaat uitgestoten en kwamen die terecht in het dorp Meerssen.

Fabrikanten publiceren *service bulletins* om eigenaren en *operators* te voorzien van kritische en nuttige informatie over de veiligheid van vliegtuigen, onderhoud of productverbetering. Een *service bulletin* is raadgevend en het is niet verplicht het daarin opgenomen advies op te volgen tenzij het in een luchtwaardigheidsrichtlijn is opgenomen. Om het falen van de buitenste overgangskanalen en het turbinegedeelte te voorkomen heeft de motorfabrikant sinds 1993 verschillende *service bulletins* uitgegeven. Ook werden er luchtwaardigheidsrichtlijnen gepubliceerd om de veilige

werking van de motor te garanderen. De voorgestelde verbeteringen omvatten onder meer extra koelvoorzieningen voor de hogedrukturbine en de installatie van een nieuw type panelen van de buitenste overgangskanalen. Het onderzoek toonde aan dat de motor was voorzien van panelen van het nieuwe type, maar dat de motor niet beschikte over de aanvullende koelvoorzieningen. Het ontbreken van de aanvullende koelvoorzieningen had de hierboven genoemde hoge gastemperatuur tot gevolg. Het installeren van deze koelvoorzieningen, zoals geadviseerd in *Service Bulletin 72-462*, was niet verplicht.

De luchtvaartmaatschappij, die het toestel ten tijde van het incident drie maanden in gebruik had, beschikte niet over documentatie waaruit zou moeten blijken waarom *Service Bulletin 72-462* niet was opgevolgd. Het toestel en de motor waren in gebruik bij een andere luchtvaartmaatschappij toen dit *service bulletin* werd gepubliceerd. De oorspronkelijke beslissing voor het al dan niet opvolgen van *Service Bulletin 72-462* had dus genomen (en vastgelegd) moeten zijn door die luchtvaartmaatschappij.

Een adequate administratie van onderhoudsdocumentatie stelt een luchtvaartmaatschappij en diens onderhoudsorganisatie in staat de juiste beslissingen te nemen ten aanzien van risicobeheersing aangaande de permanente luchtwaardigheid van hun vliegtuigen. Dat is van groot belang voor het veilige gebruik van, in dit geval, de motor gedurende diens operationele levensduur.

Doordat er boven gebieden in de omgeving van luchthavens veel luchtverkeer samenkomt, bestaat daar een grotere kans op incidenten. In het betreffende geval komt er veel luchtverkeer samen boven de dorpen Meerssen, Geverik en Beek. Dat betekent dat de inwoners van deze dorpen ongewild worden blootgesteld aan het risico van vallende motorbrokstukken, dat waarschijnlijk groter is dan in andere woongebieden rondom de luchthaven. In de luchtvaartwereld is de omvang van het risico van vallende motorbrokstukken niet vastgesteld en niet omgezet in regelgeving. De motorstoring heeft aangetoond dat het gevaar van vallende motorbrokstukken reëel is en kan leiden tot persoonlijk letsel en materiële schade. Dit incident heeft het gevoel van onveiligheid bij de inwoners versterkt.

Mensen die in de buurt van een luchthaven wonen, worden blootgesteld aan ten minste twee soorten risico's: ten eerste, vallende onderdelen van vliegtuigen en ten tweede, vliegtuigongevallen. Tot op heden is er voor woongebieden rondom Maastricht Aachen Airport geen routinematige risico-inschatting van vallende onderdelen van vliegtuigen, zoals motorbrokstukken, gemaakt. De Onderzoeksraad voor Veiligheid is van mening dat er op basis van de uitkomst van zo'n risico-inschatting een beslissing zou moeten worden genomen over de aanvaardbaarheid van deze lokale risico's.

AANBEVELINGEN

De Onderzoeksraad voor Veiligheid doet de volgende aanbevelingen:

Aan Longtail Aviation:

1. Zorg voor een volledige en toegankelijke administratie van het (niet) opvolgen van *service bulletins* voor de motoren die voor de vloot van uw verkeersvliegtuigen geleased worden.

Aan de United States Federal Aviation Administration:

2. Overweeg opnieuw of *Service Bulletin 72-462*, gezien het risico voor derden, via een luchtwaardigheidsrichtlijn verplicht moet worden gesteld.

Aan de ministerie van Infrastructuur en Waterstaat:

3. Voer voor de woongebieden rondom Maastricht Aachen Airport een beoordeling uit van de risico's verbonden aan vallende vliegtuigonderdelen, zoals motorbrokstukken, en publiceer de resultaten hiervan.



prof. dr. mr. S. Zouridis
Vice-voorzitter Onderzoeksraad
voor Veiligheid



mr. C.A.J.F. Verheij
Secretaris-directeur

AFKORTINGEN

AAIB	Air Accidents Investigation Branch
AD	Airworthiness Directive (luchtwaardigheidsrichtlijn)
AMSL	Above mean sea level (boven gemiddeld zeeniveau)
APU	Auxiliary power unit (hulpmotor in start van vliegtuig)
ATIS	Automatic Terminal Information Service (automatische terminalinformatiedienst)
BCF	Boeing Converted Freighter (passagiersvliegtuig door Boeing omgebouwd tot vrachtvliegtuig)
BOAS	Blade outer air seal (buitenste luchtafdichting turbineschoep)
°C	Graden Celsius
CVR	Cockpit voice recorder (opnameapparaat cockpitgeluiden)
DAAD	Deviation Acceptance and Action Document
EASA	European Union Aviation Safety Agency (Europees agentschap voor de luchtvaartveiligheid)
EGT	Exhaust gas temperature (uitlaatgastemperatuur)
°F	Graden Fahrenheit
FDR	Flight data recorder (vluchtdatarecorder)
FL	Flight level (vlieghoogte)
HPC	High pressure compressor (hogedrukcompressor)
HPT	High pressure turbine (hogedrukturbine)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Internationale burgerluchtvaartorganisatie)
kg	Kilogram
kt	Knots (knopen)
Lbf	Pound-force (eenheid van kracht)
LIDO	Lufthansa Integrated Dispatch Operation
LPC	Low pressure compressor (lagedrukcompressor)
LPT	Low pressure turbine (lagedrukturbine)
MEL	Minimum equipment list (minimumuitrustingslijst)
NTSB	National Transportation Safety Board (Amerikaanse instantie voor verkeersveiligheid)

OPT	Onboard performance tool (software voor optimaliseren vluchtprestaties)
OTD	Outer transition duct (buitenste overgangskanaal)
PDA	Parts departing aircraft (door vliegtuig verloren onderdelen)
QNH	Mean sea level pressure (gemiddelde luchtdruk zeeniveau)
SB	Service bulletin
SID	Standard instrument departure (standaard vertrekprocedure)
TCO	Third country operator (exploitant in derde land)
UTC	Coordinated Universal Time (gecoördineerde universele tijd)

ALGEMEEN OVERZICHT

Nummer voorval:	2021007
Classificatie:	Ernstig incident
Datum, tijd voorval:	20 februari 2021, 16.12 uur ¹
Plaats voorval:	Meerssen
Luchtvaartmaatschappij:	Longtail Aviation
Registratie luchtvaartuig:	VQ-BWT
Type luchtvaartuig:	Boeing 747-412 BCF
Soort luchtvaartuig:	Luchtvaartuig met vaste vleugels - vrachtvliegtuig
Soort vlucht:	Geregelde vrachtdienst
Fase van de vlucht:	Initiële klimfase
Schade aan luchtvaartuig:	Inwendige schade aan motor 1
Aantal cockpitbemanning:	Twee (gezagvoerder en eerste officier)
Overige bemanningsleden:	Eén (<i>loadmaster</i>)
Aantal passagiers:	Geen
Persoonlijk letsel:	Twee personen op de grond liepen letsel op
Overige schade:	Schade aan auto's en huizen
Lichtcondities:	Daglicht

¹ Alle tijden in dit rapport zijn lokale tijd (UTC + 1 uur), tenzij anders aangegeven.

1 INLEIDING

Op 20 februari 2021 steeg een Boeing 747-400 op van baan 21 van Maastricht Aachen Airport. Tijdens de initiële klimfase trad er een motorstoring op. Brokstukken van de motor kwamen terecht in het dorp Meerssen, waardoor schade ontstond aan huizen en auto's. Twee personen op de grond liepen letsel op. De cockpitbemanning schakelde de betreffende motor uit en week uit naar Liege Airport in België waar het toestel veilig landde.

De Onderzoeksraad classificeerde het voorval als een ernstig incident vanwege de kans op een ongeval. Dit omdat de vallende motorbrokstukken in een dorp terechtkwamen en letsel veroorzaakten. Dat letsel had veel ernstiger kunnen zijn. In overeenstemming met de Rijkswet Onderzoeksraad voor Veiligheid en Europese Verordening Nr. 996/2010² heeft de Onderzoeksraad een onderzoek uitgevoerd naar dit ernstige incident.

Dit onderzoek naar de motorstoring beantwoordt de volgende vragen:

- (1) Wat was de oorzaak van de motorstoring?
- (2) Op welke manier wordt het risico van vallende motorbrokstukken voor mensen op de grond beheerst?

De Onderzoeksraad heeft het risico voor mensen op de grond onderzocht omdat de Raad brieven en e-mailberichten had ontvangen van inwoners waarin zorgen werden geuit over hun veiligheid nadat als gevolg van dit voorval letsel en schade waren ontstaan. De inwoners zijn voor hun veiligheid afhankelijk van de manier waarop de overheid de risico's ten aanzien van Maastricht Aachen Airport beheerst. De inwoners ervoeren de locatie van de luchthaven als onveilig omdat die zich tussen verschillende woongebieden bevindt en wordt gebruikt voor commerciële luchttransportdiensten³ waaronder vluchten met zware vrachtvliegtuigen. Het in dit rapport beschreven ernstige incident heeft het gevoel van onveiligheid versterkt.

Overeenkomstig ICAO-bijlage 13⁴ waren de onderstaande organisaties bij het onderzoek betrokken. De Onderzoeksraad voor Veiligheid vertegenwoordigde het land waar het voorval plaatsvond. De National Transportation Safety Board (NTSB) vertegenwoordigde het land van ontwerp en het land van fabricage van de Boeing 747 en de betreffende

² Europese Unie, VERORDENING (EU) Nr. 996/2010 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD inzake onderzoek en preventie van ongevallen en incidenten in de burgerluchtvaart, en houdende intrekking van Richtlijn 94/56/EG, oktober 2010.

³ Commerciële luchttransportdiensten omvatten de inzet van vliegtuigen voor het vervoer van passagiers, vracht of post voor commerciële doeleinden.

⁴ ICAO, Annex 13 - Onderzoek naar luchtvaartongevallen en -incidenten van het Verdrag (inzake de Internationale Burgerluchtvaart): Vliegtuigongeval en Voorvalonderzoek, juli 2020.

motor van het type Pratt & Whitney PW4056. Verder heeft de NTSB een gemachtigd vertegenwoordiger aangewezen en adviseurs van Boeing Commercial Airplanes, Pratt & Whitney en de United States Federal Aviation Administration. De Air Accidents Investigation Branch (AAIB), de Britse burgerluchtvaartonderzoeksinstantie, vertegenwoordigde het land van de luchtvaartmaatschappij en het land van registratie.⁵ De AAIB heeft een gemachtigd vertegenwoordiger en adviseurs van de luchtvaartmaatschappij Longtail Aviation aangewezen.

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de verzamelde en als relevant beschouwde feitelijke informatie. In hoofdstuk 3 volgt de analyse van het ongeval. De gecombineerde bevindingen en conclusies uit het voorgaande hoofdstuk staan beschreven in hoofdstuk 4.

⁵ De luchtvaartmaatschappij bevindt zich in Bermuda en het vliegtuig staat geregistreerd in Bermuda. Bermuda is een soevereine staat van het Verenigd Koninkrijk en valt daarom onder de verantwoordelijkheid van de AAIB.

2 FEITELIJKE INFORMATIE

2.1 Vluchtverloop

Op 20 februari 2021 was de Boeing 747-400 met registratie VQ-BWT ingepland voor een vrachtlucht van Maastricht Aachen Airport in Nederland naar John F. Kennedy Airport, New York in de Verenigde Staten. De cockpitbemanning bestond uit een gezagvoerder en eerste officier.

2.1.1 Vluchtvoorbereiding

Toen de cockpitbemanning zich voor hun dienst meldde, was het laden van het toestel reeds voltooid. De bemanning verklaarde de vlucht te hebben voorbereid overeenkomstig de procedures van de luchtvaartmaatschappij. Het toestel werd van 82.100 kg brandstof voorzien, waarmee de totale hoeveelheid brandstof aan boord bij de start 101.300 kg bedroeg. Het vliegtuig was geladen met 76.485 kg vracht.

In het technisch logboek⁶ werd genoteerd dat de hulpmotor in de staart van het vliegtuig (APU)⁷ onbruikbaar was doordat de inlaatklep daarvan in gedeeltelijk geopende stand was geblokkeerd. Bij het berekenen van de startprestaties wordt er met deze deels geopende klep rekening gehouden vanwege de extra luchtweerstand.⁸ Overeenkomstig de minimumuitrustingslijst⁹ (MEL) van de luchtvaartmaatschappij mocht het toestel in deze conditie vertrekken. Bij het berekenen van de startprestaties met behulp van de *Boeing Onboard Performance Tool*, hield de cockpitbemanning overeenkomstig de MEL rekening met de aanpassingswaarde voor de vastzittende klep van de APU. Het startgewicht van het vliegtuig bedroeg 342.411 kg en was lager dan het voor deze vlucht bepaalde limietgewicht van 343.000 kg.

2.1.2 Starten, grondbewegingen en opstijgen

Tijdens deze vlucht werd het vliegtuig gevlogen door de eerste officier en had de gezagvoerder een ondersteunende rol. De luchtverkeersleiding gaf de vlucht toestemming naar de bestemming te vliegen via standaard vertrekprocedure OLNO 2B naar FL060.¹⁰ De cockpitbemanning startte de motoren; de starttijden lagen binnen de

⁶ Een voor elk vliegtuig specifiek document waarin de onderhoudsstatus van dat vliegtuig wordt bijgehouden.

⁷ De APU is een kleine straalmotor die zich meestal in de staart van een vliegtuig bevindt. Dankzij de APU is een vliegtuig niet afhankelijk van grondmaterieel, zoals externe systemen voor elektrische voeding, airconditioning of een hogedruk luchtstarter.

⁸ De APU kan alleen werken als de klep volledig geopend is. De klep stond slechts gedeeltelijk open; dit veroorzaakt tijdens de vlucht extra luchtweerstand.

⁹ Een lijst waarop is aangegeven hoe een luchtvaartuig onder specifieke omstandigheden moet worden gebruikt wanneer bepaalde instrumenten, uitrustingsstukken of functies buiten werking zijn bij het begin van de vlucht. Deze lijst komt overeen met of legt meer beperkingen op dan de Master MEL van de fabrikant voor het betreffende vliegtuigtype.

¹⁰ Een standard instrument departure route (SID) is een standaardroute die is vastgelegd in een vertrekprocedure bij vliegen op instrumenten. Het vliegtuig volgt deze route vanaf het opstijgen tot de 'en-route' vluchtfase.

grenswaarden en alle motorindicaties waren normaal. Daarna taxiede het vliegtuig via oprit E1 naar het begin van baan 21. De taxiroute bood voldoende gelegenheid om te voldoen aan de minimumopwarmtijd voor de motoren zoals aanbevolen door de motorfabrikant.

Om 16.11 uur gaf de baanverkeersleider toestemming om op te stijgen vanaf baan 21. De cockpitbemanning selecteerde flaps 20, schakelde de autothrottle in, gaf vol vermogen en het vliegtuig begon aan de startaanloop. Het vliegtuig kwam zonder verdere bijzonderheden los van de grond.

2.1.3 De motorstoring

Op een hoogte van 1150 voet AMSL (800 voet boven de grond) hoorde de cockpitbemanning een knal en merkte ze dat het vliegtuig enigszins naar links rolde en zwenkte. De uitlezing van de uitlaatgastemperatuur van motor 1 toonde een overschrijding van de maximumtemperatuur. De cockpitbemanning beoordeelde de situatie als een *engine surge* (onderbreking van de compressiedruk). Kort daarna raakte motor 1 defect en verloor alle stuwkracht.

De eerste officier, die het vliegtuig vloog, corrigeerde de afwijkende bewegingen van het vliegtuig, veroorzaakt door de asymmetrische stuwkracht, door het rechterrolroer en het richtingsroer naar rechts te bedienen. Hij voerde uit het hoofd de onmiddellijk te nemen actie uit die de procedure voor *engine limit or surge or stall* voorschrijft door de gashendel voor motor 1 in de stationaire stand te zetten. Vrijwel gelijktijdig informeerde de baanverkeersleider de cockpitbemanning dat er vlammen sloegen uit motor 1 (zie figuur 1). De gezagvoerder kondigde een noodsituatie af en meldde de luchtverkeersleiding dat de motor werd uitgeschakeld. In aanvulling daarop vroeg hij om koersinstructies voor navigatie. Hoewel er in de cockpit geen melding van een motorbrand verscheen, besloot de bemanning het voorval als een motorbrand te beschouwen en werd uit het hoofd de procedure voor een motorbrand uitgevoerd. De brandstoftoevoer naar motor 1 werd uitgeschakeld via de desbetreffende schakelaar en de brandblusschakelaar voor motor 1 werd uitgetrokken en in de uiterste stand gedraaid zodat er brandblusmiddel in de motor werd gespoten. Met deze handelingen werd de motor geïsoleerd van het hydraulisch systeem en werd de brandstoftoevoer naar de motor afgesloten. In de tussentijd had de baanverkeersleider, na een verzoek daartoe van de cockpitbemanning, laten weten dat er niet langer vlammen sloegen uit motor 1.



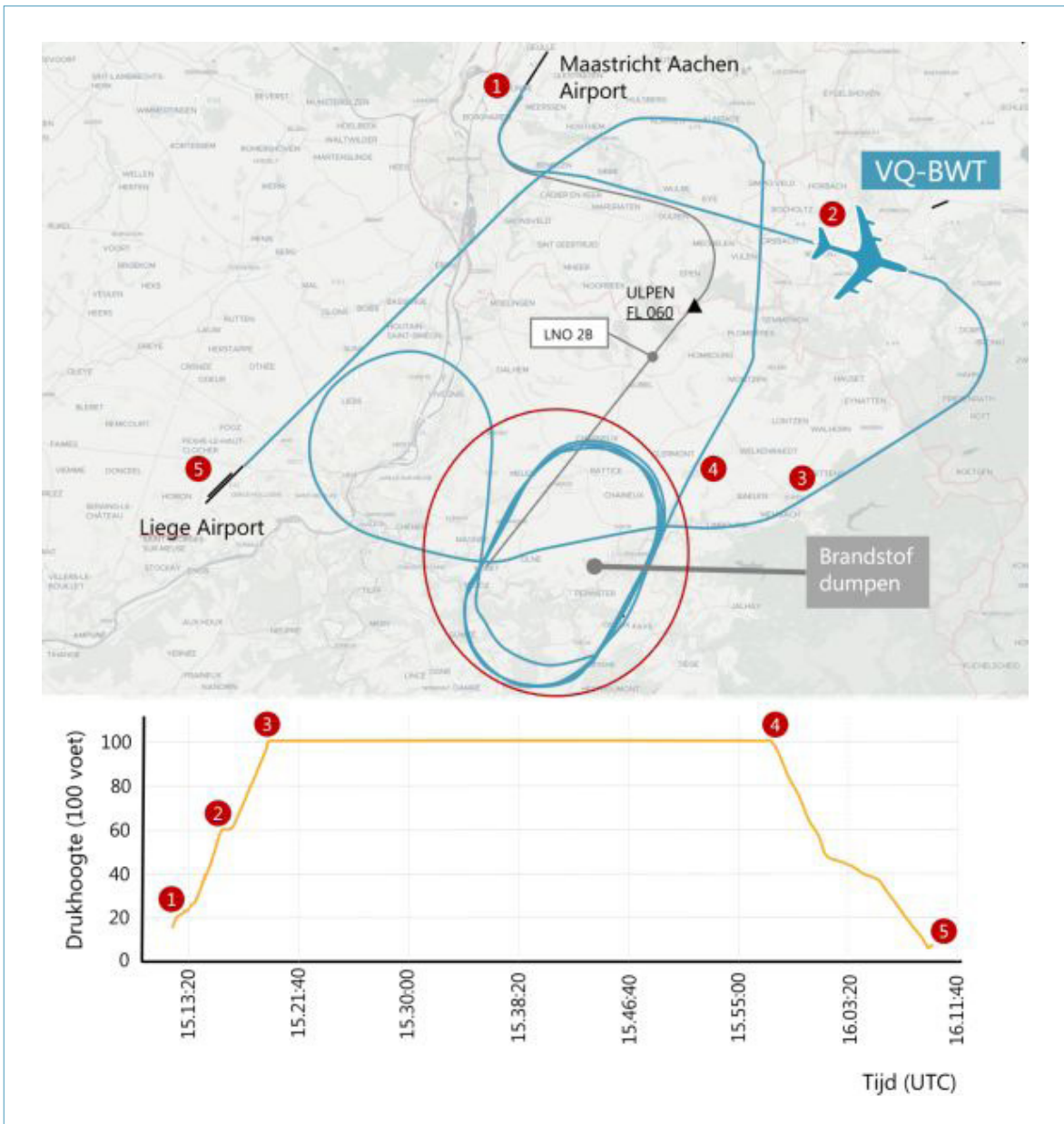
Figuur 1: Vlammen waargenomen na defect raken motor nummer 1. (Bron: Maastricht Aachen Airport)

2.1.4 Uitwijken naar Liege Airport

De cockpitbemanning besloot niet naar de eindbestemming te vliegen en besprak de beste oplossing. Dat was terugkeren naar Maastricht Aachen Airport of uitwijken naar een andere luchthaven. De bemanning besloot uit te wijken naar Liege Airport in België omdat de landingsbaan daar langer is dan die van Maastricht Aachen Airport.

Het gewicht van het vliegtuig was echter hoger dan het maximumlandingsgewicht van 295.742 kg. Daarom besloot de bemanning in overleg met de luchtverkeersleiding te stijgen naar FL100, een hoogte die voldoende is voor het uitvoeren van de procedure voor het dumpen van brandstof.¹¹ De cockpitbemanning dumpte brandstof om het gewicht van het vliegtuig te verlagen tot onder het maximumlandingsgewicht. Daarna nam de gezagvoerder de besturing van het vliegtuig over omdat de landing met een uitgeschakelde motor als abnormale situatie werd beschouwd die door de gezagvoerder moest worden uitgevoerd.

¹¹ FL100 (10.000 voet) is voldoende hoog om de brandstof geheel te doen vernevelen zodat de brandstof de grond niet in vloeibare vorm (in kleine druppeltjes) raakt.



Figuur 2: Bovenaanzicht van de gevlogene route en grafische weergave van de drukhoogte uitgezet tegen de tijd (in UTC). (Bron: Luchtverkeersleiding Nederland, aangepast door de Onderzoeksraad voor Veiligheid)

Tijdens het dumpen van brandstof¹² werd de cockpitbemanning door de luchtverkeersleiding geïnformeerd dat er metalen delen op de grond waren gevonden, ongeveer op dezelfde locatie als waar de motorstoring optrad. Daarom hield de cockpitbemanning er rekening mee dat er mogelijk ook schade aan de vleugel of flaps was ontstaan. Ook hield ze rekening met de gevolgen van een mogelijke storing aan een tweede motor.

¹² In totaal werd er 40.000 kg brandstof gedumpt.

Overeenkomstig de luchtverkeersleidingsprocedures werd de vlucht overgezet naar de naderingsverkeersleiding van Liege Airport. Er werd gekozen voor een lange eindnadering zodat er voldoende tijd was om het vliegtuig voor de landing te stabiliseren en eventueel optredende besturingsproblemen te kunnen ondervangen. Om 17.09 uur landde het vliegtuig zonder verdere bijzonderheden op baan 22L van Liege Airport. Na de landing begeleidde de brandweer het toestel naar de parkeerpositie. De brandweer meldde aan de cockpitbemanning dat motor 1 geen brandverschijnselen of uitwendige schade vertoonde. Vervolgens werd het vliegtuig naar een parkeerplek gesleept. Het landingsgewicht was met 292.000 kg lager dan het maximaal toegestane landingsgewicht. Na uitschakelen van alle motoren was er aanzienlijke schade zichtbaar aan de achterste delen van de lagedrukturbine van motor 1, gezien vanaf de uitlaatzijde van de motor (zie figuur 3).



Figuur 3: Zichtbare schade aan lagedrukturbine, gezien vanaf de uitlaatzijde van de motor. (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

2.2 Letsel aan personen

Twee personen op de grond liepen letsel op. Een persoon werd geraakt door een vallend brokstuk en kwam ten val. Deze persoon is behandeld in een ziekenhuis en heeft langere tijd medische zorg nodig gehad. De andere persoon liep lichte brandwonden op na het oprapen van een heet brokstuk.

2.3 Schade aan het vliegtuig

Motor nr. 1 ondervond een *contained engine failure* die inwendige schade veroorzaakte aan onder meer de hogedrukturbine en lagedrukturbine. Zie hoofdstuk 2.10.1 voor een verdere beschrijving van de schade. Er was geen andere schade aan het vliegtuig.



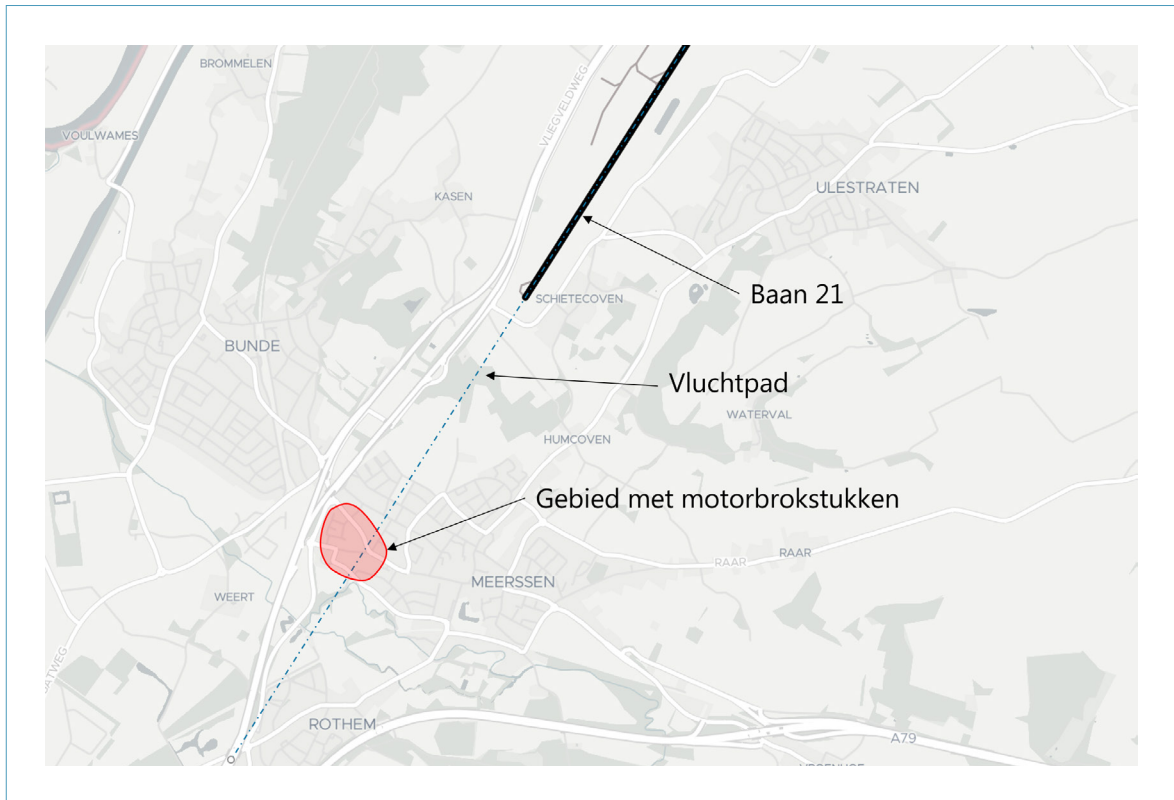
Figuur 4: Motor nummer 1 na de landing op Liege Airport. (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

2.4 Overige schade

Het vliegtuig verloor metalen brokstukken boven woonwijken van het dorp Meerssen (zie figuur 5), waarbij auto's (zie figuur 6) en huizen beschadigd raakten. De brokstukken werden verzameld en geïdentificeerd als fragmenten van de turbine van motor nummer 1 (zie figuur 7).¹³ Tijdens het onderzoek bleken sommige brokstukken van aanzienlijke

¹³ Schoepen en bladen van de vijfde en zesde fase van de lagedrukturbine.

omvang¹⁴ en gewicht te zijn, waardoor ze een gevaar vormden voor mensen op de grond en hun eigendommen.



Figuur 5: Kaart van het gebied waar de meeste schade optrad. (Bron: Google Maps, aangepast door de Onderzoeksraad voor Veiligheid)



Figuur 6: Fragment van turbine in autodak. (Bron: Algemeen Nederlands Persbureau)

14 Het grootste brokstuk dat door de luchtvaartpolitie werd gevonden en aan de Onderzoeksraad voor Veiligheid werd overgedragen was 23 bij 4 cm.



Figuur 7: Verzamelde turbinefragmenten. (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

2.5 Informatie over personeel

De cockpitbemanning bestond uit een gezagvoerder en eerste officier. Beiden waren bevoegd om de Boeing 747-412BCF te vliegen. Op de extra stoel in de cockpit achter beide piloten reisde een *loadmaster* mee. De *loadmaster* had geen taken die te maken hebben met de vluchtuitvoering.¹⁵

Tabel 1: Vliegervaring van de cockpitbemanning

	Vlieguren totaal (uur)	Vlieguren met de Boeing 747-400 (uur)
Gezagvoerder	16.769	9920 (waarvan 1233 als gezagvoerder)
Eerste officier	10.721	7044

¹⁵ Een *loadmaster* (laadmeester) is een bemanningslid dat is belast met (toezicht op) het laden, vervoeren en lossen van luchtvracht. Aan de hand van berekeningen zorgt de *loadmaster* voor de juiste plaatsing van vracht en/of passagiers zodat de gewichtsverdeling van het vliegtuig tijdens alle vluchtfasen binnen de toelaatbare grenswaarden voor het zwaartepunt blijft. De *loadmaster* is ook verantwoordelijk voor het vastzetten van de lading.

2.6 Informatie over het vliegtuig

2.6.1 Algemeen

Fabrikant	Boeing Commercial Airplanes
Model	747-412BCF
Fabricagedatum	21 februari 1991
Serienummer	24975
Registratie	VQ-BWT
Maximumstartgewicht	394.625 kg
Maximumgewicht zonder brandstof	276.691 kg
Maximumlandingsgewicht	295.742 kg
Spanwijdte	64 meter
Totaal aantal vliegreizen	84.025
Totaal aantal landingen	14.279

De Boeing 747-412BCF had een geldig bewijs van luchtwaardigheid en het onderhoud was overeenkomstig het onderhoudsschema uitgevoerd.

Het technisch logboek bevatte aantekeningen over de uitlaatgastemperaturen (EGT)¹⁶ en het olie- en brandstofverbruik van de motoren van het vliegtuig. De aantekeningen in het logboek vormden voor de bemanning geen aanleiding te twifelen aan de technische staat van het vliegtuig.

Vliegtuigcasco

Het vliegtuig werd op 21 februari 1991 afgeleverd als passagiersvliegtuig. In februari 2007 werd de ombouw naar vrachtvliegtuig voltooid. In de loop van zijn 30-jarig bestaan is het vliegtuig verschillende keren tijdelijk uit operationele dienst genomen. Het vliegtuig wisselde zeven keer van eigenaar en twaalf keer van luchtvaartmaatschappij.

2.6.2 Gewicht en gewichtsverdeling

De *loadmaster* overhandigde de cockpitbemanning een handmatig berekende gewicht- en zwaartepuntsberekening. Het vliegtuig was uitgerust met een systeem voor het berekenen van gewicht en gewichtsverdeling dat een indicatie geeft van het gewicht en het zwaartepunt wanneer het vliegtuig op de grond staat. Op basis van de informatie uit dit systeem, de gewicht- en zwaartepuntsberekening en gegevens uit de vluchtdaterecorder werd vastgesteld dat het totale gewicht en het zwaartepunt van het vliegtuig tijdens het opstijgen zich binnen de grenswaarden bevonden zoals voorgeschreven in het vlieghandboek.

¹⁶ In een turbinemotor is de uitlaatgastemperatuur (EGT) de temperatuur van de gassen die de turbine verlaten. De uitlaatgastemperatuur wordt gemeten door een aantal thermokoppels die in de uitlaatstroom zijn gemonteerd, en de gemeten waarde is af te lezen op een meter in de cockpit.

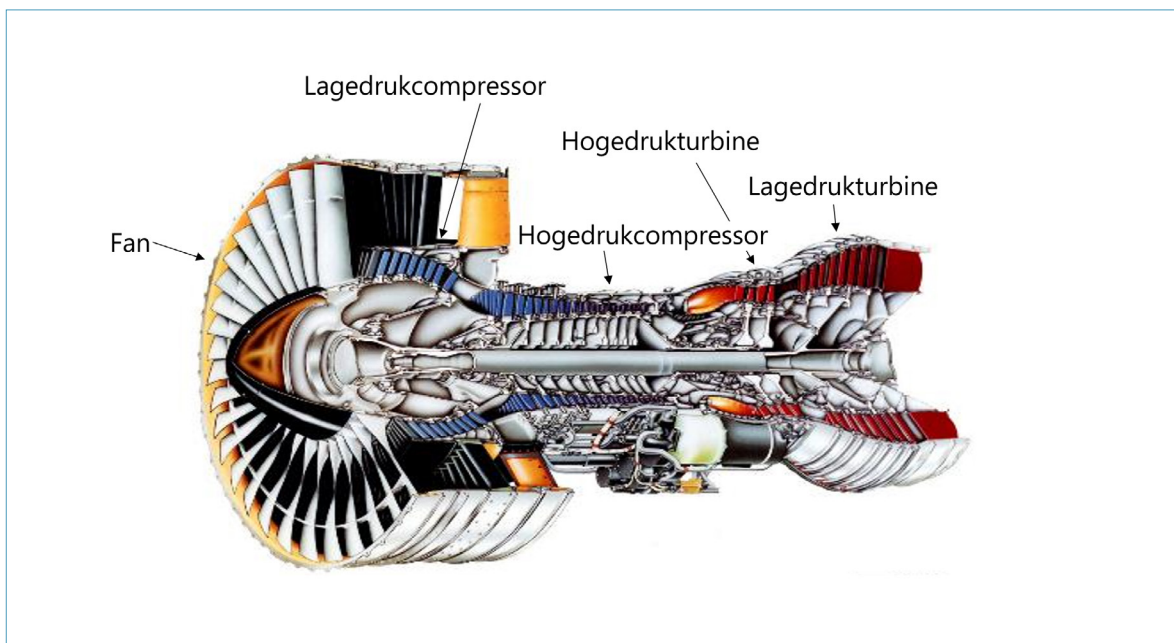
2.6.3 Motor nummer 1

Algemeen

Fabrikant	Pratt & Whitney
Model	PW4056
Datum van ingebruikname	januari 1993
Serienummer	P727305
Totale bedrijfstijd	73.995 uur
Totaal aantal cycli	9964
Tijd sinds revisie (2010)	11.516 uur
Aantal cycli sinds revisie (2010)	1998

Motorbeschrijving

De PW4056 is een variant van model PW4000-94" en is onderdeel van de modellenserie PW4000 (zie figuur 8). De PW4000-94"-motor is een *high bypass ratio axial flow turbofan* motor met een gecertificeerde stuwkracht van 56,000 lbf (25.401 kgf). De motor bestaat uit een fan met een diameter van 94 inch (239 cm) met 38 afgeschermdde fanbladen, gekoppeld aan een viertrapslagedrukcompressor (LPC). Zowel de fan als de LPC worden aangedreven door een viertrapslagedrukturbine (LPT).¹⁷ De motorkern heeft een elftrapshogedrukcompressor (HPC), aangedreven door een tweetrapshogedrukturbine (HPT).¹⁸



Figuur 8: Turbofanmotor PW4000-94". (Bron: Pratt & Whitney)

¹⁷ Het samenstel van fan, LPC en LPT wordt de lage rotor of N1-rotor genoemd.

¹⁸ Het samenstel van HPC en HPT wordt de hoge rotor of N2-rotor genoemd.

2.7 Meteorologische informatie

Op Maastricht Aachen Airport was het zicht meer dan 10 kilometer en er was geen bewolking. Wind uit zuidelijke tot zuidwestelijke richting voerde tropische continentale lucht aan. De luchtmassa was instabiel tot een hoogte van 2000 voet.

Het automatische informatiesysteem (ATIS)¹⁹ van Maastricht Aachen Airport gaf om 16.11 uur wind uit richting 170 graden met een snelheid van 12 knopen aan. De windrichting was veranderlijk, 140 tot 200 graden, met een kracht van 8 tot 18 knopen.

2.8 Informatie over de luchthaven

2.8.1 Algemeen

Maastricht Aachen Airport heeft één start- en landingsbaan met een lengte van 2750 meter²⁰ en een breedte van 45 meter. Deze baan is geschikt voor gebruik door grote commerciële vliegtuigen zoals de Boeing 747-400. Baan 21 (noord-zuid) wordt in 75 tot 80% van alle starts en landingen gebruikt als de actieve start- en landingsbaan. Bij gebruik in richting zuid-noord heeft dezelfde baan de aanduiding 03.

De luchthaven beschikte over een geldig luchthavencertificaat.^{21,22} Het bij dit certificaat gevoegde *Deviation Acceptance and Action Document* (DAAD)²³ bevatte twee afwijkingen betreffende het draaiplatform aan het einde van baan 21. Deze afwijkingen staan los van het betreffende incident.

2.8.2 Vogels

De baan wordt regelmatig geïnspecteerd omdat er vanwege het kleine aantal vliegbewegingen meer kans bestaat op vogels op de baan dan bij banen met drukker verkeer. Vogels worden actief verjaagd. Ganzen komen in toenemende mate op de luchthaven voor. In een natuurgebied ten westen van de luchthaven verblijven hoofdzakelijk kleinere vogels. Op het moment dat het vliegtuig vertrok vlogen er verschillende kraanvogels in de omgeving van de luchthaven.

19 ATIS is een continue uitzending van luchtvaartinformatie in gebieden met druk luchtverkeer, zoals rond luchthavens en hun directe omgeving.

20 De beschikbare startafstand en beschikbare aanlooptlengte voor baan 21, met zijn verplaatste baandrempeel van 250 meter, zijn beide 2500 meter.

21 Hiermee had de luchthaven toestemming voor exploitatie overeenkomstig de bepalingen van Verordening (EU) Nr. 2018/1139 en de uitvoeringsbepalingen daarvan, de certificeringsbasis voor de luchthaven, de luchthavenhandleiding, de voorwaarden van het certificaat en het *Deviation Acceptance and Action Document* (DAAD) gevoegd bij het luchthavencertificaat.

22 Inspectie Leefomgeving en Transport, *Certificaatreferentie NL-ADR-003, revisienummer 6*, januari 2017.

23 Inspectie Leefomgeving en Transport, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, *Overzicht van afwijkingen die zijn aangemerkt als items voor het Deviation Acceptance and Action Document (DAAD), NL-ADR-003, revisienummer 6*, 18 februari 2021.

Tijdens een baaninspectie na het voorval werden er geen vreemde voorwerpen²⁴ aangetroffen die op het voorval van invloed zouden kunnen zijn geweest. Tijdens inspectie van de motor werden geen vogelresten gevonden.

2.9 Vluchtreorders

Het vliegtuig was uitgerust met een *solid-state memory flight data recorder* (FDR, vluchtdatarecorder), gefabriceerd door AlliedSignal, en een *solid-state cockpit voice recorder* (CVR), gefabriceerd door L3 Communications.

Zowel de FDR als de CVR heeft de gehele vlucht geregistreerd. Beide recorders werden met succes uitgelezen en werden gebruikt bij het analyseren van het voorval. De waarden van enkele relevante parameters die werden vastgelegd door de FDR zijn in bijlage C grafisch weergegeven.

2.10 Test en onderzoek

2.10.1 Boroscoopinspectie van motor 1

De betreffende motor werd op Liege Airport van het vliegtuig verwijderd. Onder toezicht van de Onderzoeksraad vonden op 26 en 28 februari 2021 boroscoopinspecties plaats. De Raad werd hierbij bijgestaan door Pratt & Whitney en een gecertificeerd technicus onder de verantwoordelijkheid van de Raad. De andere drie motoren van het vliegtuig werden niet onderzocht.

Tijdens visuele inspecties en de boroscoopinspecties van de motor werd er geen beschadiging geconstateerd aan de motorgondel, motorbeplating, fan, hogedruk-compressor en verbrandingskamer.

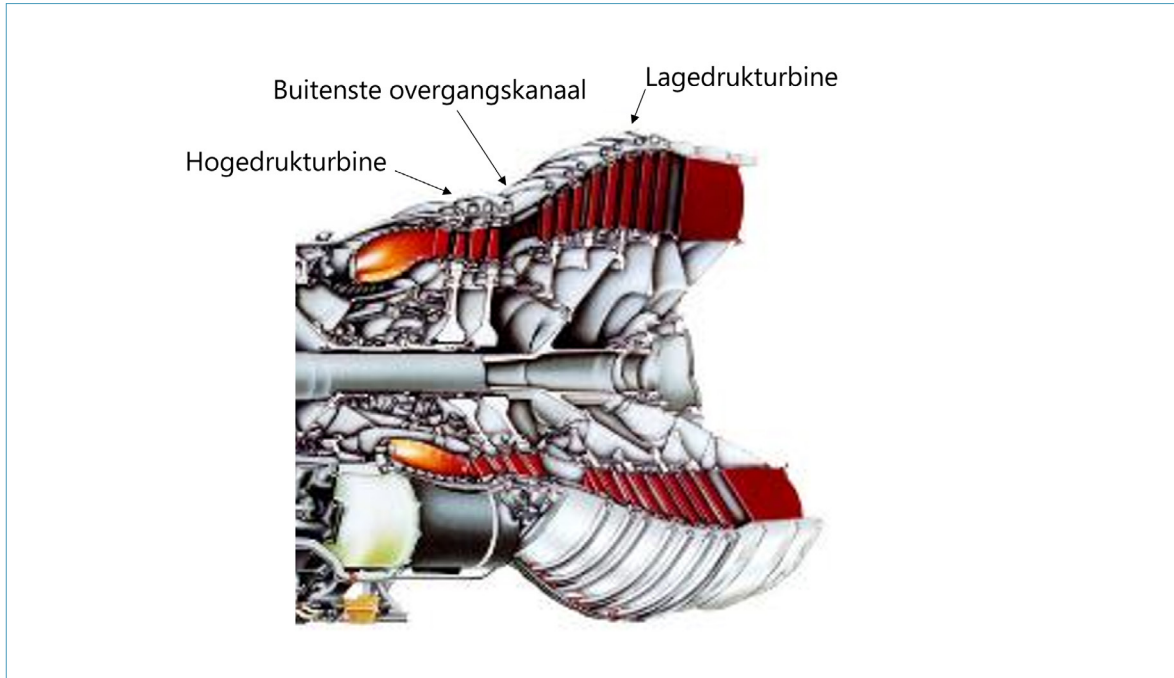
De boroscoopinspecties toonden beschadigingen aan de hogedrukturbine (HPT) en lagedrukturbine (LPT) (zie figuur 9). De achterste randen van de schoepen van de tweede trap HPT vertoonden beschadigingen. Twee buitenste overgangskanalen (zie figuur 10) waren losgeraakt en terechtgekomen in het stromingstraject van de LPT (zie figuur 11). Meerdere schoepen van de derde trap (eerste trap LPT) ontbraken of waren beschadigd. Van de laatste twee trappen van de LPT ontbraken schoepen. Pratt & Whitney verklaarde dat de schade consistent was met eerdere gevallen waarbij segmenten van de buitenste overgangskanalen waren losgeraakt (zie hoofdstuk 2.12.2).

Tijdens de boroscoopinspectie bleek het niet mogelijk de configuratie van de segmenten van de buitenste overgangskanalen vast te stellen.²⁵ Om de configuratie te kunnen

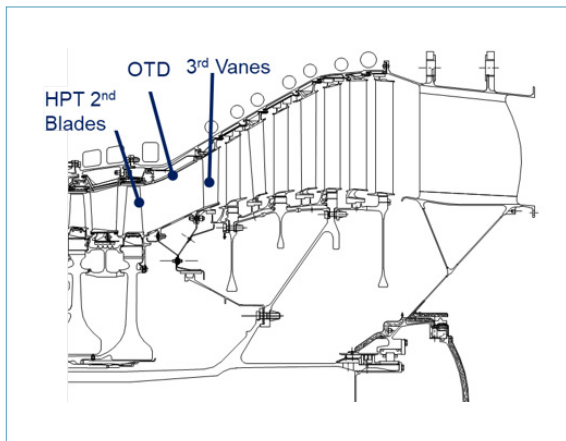
²⁴ Hierbij kan het gaan om verschillende objecten (van of uit een vliegtuig of voertuig gevallen, brokstukken van beschadigd grondmateriaal, vogels, enz.) die zich op de baan bevinden en mogelijk negatieve gevolgen kunnen hebben voor opstijgende en landende vliegtuigen.

²⁵ Met configuratie wordt hier het type van de afzonderlijke segmenten bedoeld. Deze configuratie hing onder meer samen met de inhoud van de *service bulletins* die in relatie hiermee waren gepubliceerd.

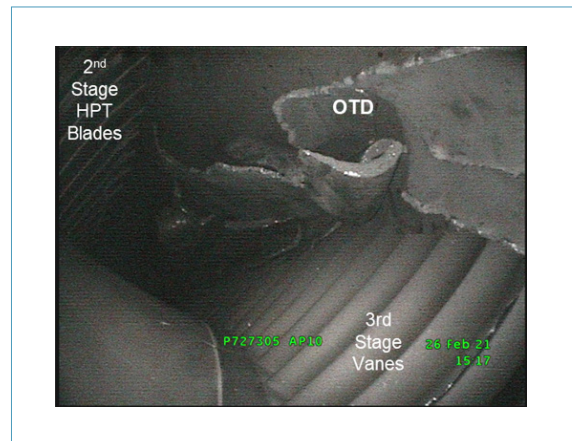
bepalen werd onderhoudsinformatie opgevraagd bij de organisaties die onderhoud hadden uitgevoerd aan de betreffende motor. Deze organisaties bleken echter niet in staat de Onderzoeksraad de gewenste informatie te leveren. Daardoor was het tijdens deze fase van het onderzoek niet mogelijk de configuratie van de segmenten van de buitenste overgangskanalen vast te stellen.



Figuur 9: Het achterste deel van de motor met daarop aangegeven de positie van een buitenste overgangskanaal. (Bron: Pratt & Whitney)



Figuur 10: Dwarsdoorsnede van HPT/LPT overgangsg gebied. (Bron: Pratt & Whitney)



Figuur 11: Foto van beschadigd buitenste overgangskanaal, genomen tijdens boroscopieinspectie. (Bron: Pratt & Whitney)

2.10.2 Demontage van de motor

In april 2021 werd de motor voor demontage en onderzoek overgebracht naar MD Turbines in Hialeah, Florida, VS. De demontage werd in juni 2021 voltooid. Afgevaardigden van de Onderzoeksraad voor Veiligheid, de National Transportation Safety Board, Pratt & Whitney en de luchtvaartmaatschappij waren daarbij aanwezig.

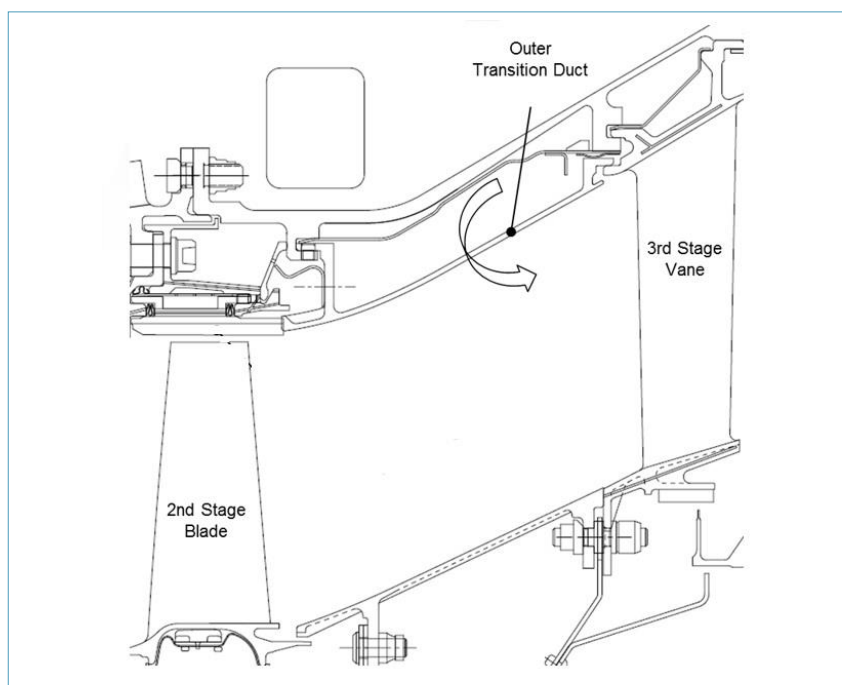
Tijdens demontage werden twee belangrijke constatering gedaan: In de eerste plaats was er geen aanpassing aan de hogedrukturbine (HPT) uitgevoerd. Deze aanpassing was door de fabrikant in maart 1993 in een *service bulletin* geadviseerd. De aanpassing bestond onder meer uit het aanbrengen van aanvullende koelvoorzieningen in de achterste afdichting van de HPT.²⁶ Deze aanpassing zorgt ervoor dat er meer koellucht langs de kanaalsegmenten kan stromen en verbetert daarmee de levensduur van de keramische coating van de kanaalsegmenten in de tweede trap van de HPT.

In de tweede plaats werd geconstateerd dat alle segmenten van het buitenste overgangskanaal van een nieuw type waren.²⁷ Dit type segment beperkt het weglekken van hete gassen aan de achterzijde van de segmenten van de buitenste overgangskanalen, waarmee vervorming wordt voorkomen.

2.10.3 Metallurgische analyse van motorcomponenten

In de eerste week van juli 2021 werden verschillende delen van de HPT en LPT voor verder onderzoek overgebracht naar de onderhoudsfaciliteit van Pratt & Whitney in East Hartford, Connecticut, VS.

Metallurgische analyse wees uit dat de buitenste luchtafdichtingen van de schoepen van de tweede trap van de HPT, de buitenste overgangskanalen en de behuizing van de LPT aan hoge temperaturen waren blootgesteld (zie figuur 12). Deze hoge temperaturen veroorzaakten onder meer scheurtjes, slijtage en kromtrekken en afbraak van coatings. Verdere details van deze analyse staan beschreven in bijlage D.



Figuur 12: Dwarsdoorsnede van HPT/LPT overgangsgebied. De pijl toont de richting waarin een losgeraakt buitenste overgangskanaal (Outer Transition Duct) zich zal bewegen. (Bron: Pratt & Whitney)

²⁶ Vermeld in *Service Bulletin* 72-462 op 18 maart 1993, zie bijlage F.

²⁷ Installatie van de buitenste overgangskanaalsegmenten van het nieuwe type werd geadviseerd in *Service Bulletin* 72-488 op 31 augustus 2009, zie bijlage F.

2.11 Organisatorische en managementinformatie

2.11.1 Luchtvaartmaatschappij

Longtail Aviation is een chartermaatschappij gevestigd in St. George's, Bermuda en werd opgericht in augustus 1999. De maatschappij levert luchtvrachtdiensten en gecharterde passagiersvluchten. Longtail Aviation heeft het vliegtuigonderhoud en het beheer van de luchtwaardigheid uitbesteed.

Longtail Aviation had de Boeing 747-412BCF met registratie VQ-BWT geleased en in dienst gesteld op 20 November 2020. Op de dag van het voorval had de luchtvaartmaatschappij het vliegtuig nog maar drie maanden in gebruik.

2.11.2 Veiligheidsvergunning van de luchtvaartmaatschappij

De Europese Unie (EU) heeft het proces voor het verlenen van vergunningen aan luchtvaartmaatschappijen uit niet-EU landen voor het uitvoeren van commerciële luchttransportdiensten binnen de EU gecentraliseerd. Verschillende regelingen die voorheen van toepassing waren op EASA-lidstaten zijn vervangen. In plaats daarvan verstrekt het Europees agentschap voor de luchtvaartveiligheid (EASA) nu één gecombineerde veiligheidsvergunning.²⁸

Volgens EU-verordeningen²⁹ moeten luchtvaartmaatschappijen uit niet-EU-landen die commerciële luchttransportdiensten aanbieden, voldoen aan de relevante normen van de Internationale burgerluchtvaartorganisatie (ICAO).

Op 12 April 2018 gaf de EASA een veiligheidsvergunning af aan Longtail Aviation met de vermelding dat de luchtvaartmaatschappij voldeed aan de internationale (ICAO) veiligheidsnormen en toepasbare eisen voor luchtruimgebruikers binnen het luchtruim van de EU.³⁰

Sinds de oorspronkelijke vergunningverlening heeft EASA middels geregelde evaluaties vastgesteld dat nog steeds aan de vereisten werd voldaan. De luchtvaartmaatschappij was tijdens het tweede kwartaal van 2018 en het derde kwartaal van 2020 beoordeeld aan de hand van door de luchtvaartmaatschappij geleverde documentatie en informatie. Gedurende deze periode werden twee 'Level 2'-bevindingen³¹ gedaan sinds de oorspronkelijke vergunningverlening aan Longtail Aviation. Beide bevindingen werden echter onmiddellijk gesloten nadat aanvullende documentatie door de luchtvaartmaatschappij werd overlegd die in eerste instantie niet was aangeleverd.

²⁸ EASA-website; Domains, Air Operations, Third Country Operators (TCO) (geraadpleegd op 1 juni 2022).

²⁹ Verordening (EG) Nr. 216/2008 en Verordening (EU) Nr. 452/2014. In het bijzonder ICAO-bijlagen 1 (Personnel licensing), 2 (Rules of the Air), 6 (Operation of Aircraft, Part I (International Commercial Air Transport – Aeroplanes) of Part III (International Operations-Helicopters), waar van toepassing, 8 (Airworthiness of Aircraft), 18 (Dangerous Goods) en 19 (Safety Management).

³⁰ Voldoet aan de vereisten van Part-TCO zoals vastgelegd in EU-verordening Nr. 452/2014.

³¹ Een 'Level 2 finding' is een geval van niet-naleving van de EASA-regelgeving. Een bevinding kan erop duiden dat de veiligheidsnormen en organisatorische procedures in het gedrang zijn geweest.

2.11.3 Luchtwaardigheidsrichtlijnen en *service bulletins*

Permanente luchtwaardigheid is de reeks van procedures die ervoor zorgen dat een vliegtuig, propeller of onderdeel voldoet aan de van toepassing zijnde vereisten voor luchtwaardigheid en in een conditie blijft die veilige werking tijdens de levensduur garandeert. Luchtwaardigheidsrichtlijnen (AD) en *service bulletins* (SB) zijn bedoeld om eigenaren van vliegtuigen of luchtvaartmaatschappijen te informeren als onderdeel van de procedures voor het garanderen van permanente luchtwaardigheid.³² Luchtwaardigheidsrichtlijnen en *service bulletins* verschillen in de manier waarop luchtvaartmaatschappijen de daarin gestelde adviezen of vereisten moeten opvolgen.

Luchtwaardigheidsrichtlijnen zijn juridisch afdwingbare verordeningen van nationale luchtvaartautoriteiten voor het corrigeren van veiligheidstekortkomingen in een product (vliegtuig, motor, onderdeel).^{33,34} Om de luchtwaardigheid van vliegtuigen te garanderen moeten luchtvaartmaatschappijen voldoen aan de vereisten zoals vastgelegd in de luchtwaardigheidsrichtlijnen of zorgen voor een goedgekeurd alternatief om aan de luchtwaardigheidsrichtlijnen te kunnen voldoen.

Fabrikanten publiceren *service bulletins* om eigenaren en luchtvaartmaatschappijen te voorzien van kritische en nuttige informatie op het gebied van de veiligheid van vliegtuigen, onderhoud of productverbetering. Een *service bulletin* is raadgevend en het is niet verplicht het daarin opgenomen advies op te volgen tenzij het in een luchtwaardigheidsrichtlijn is opgenomen.³⁵ Meestal raden fabrikanten luchtvaartmaatschappijen aan om de in de *service bulletins* voorgestelde wijzigingen door te voeren. De *operator* van een vliegtuig met een maximale gecertificeerde startmassa van meer dan 5700 kg is verplicht te beschikken over de informatie en aanbevelingen betreffende permanente luchtwaardigheid en die te beoordelen. Die informatie en aanbevelingen zijn verkrijgbaar bij de organisatie die verantwoordelijk is voor het vliegtuigontwerp. De *operator* moet de vereiste acties overeenkomstig een in het land van registratie aanvaardbare procedure uitvoeren.³⁶

De luchtwaardigheidsrichtlijnen en *service bulletins* die van toepassing zijn op de bij dit voorval betrokken motor en de categoriecodes van de *service bulletins* van Pratt & Whitney staan in onderstaande tabel en worden beschreven in bijlage F.

³² ICAO, *Airworthiness of aircraft, Annex 8 to the Convention on International Civil Aviation, twelfth edition*, juli 2018.

³³ <https://www.easa.europa.eu/domains/aircraft-products/airworthiness-directives-ad> (geraadpleegd op 4 april 2022).

³⁴ https://www.faa.gov/regulations_policies/airworthiness_directives/ (geraadpleegd op 4 april 2022).

³⁵ <https://www.faa.gov/newsroom/safety-briefing/service-bulletins-and-aircraft-owner> (geraadpleegd op 4 april 2022).

³⁶ ICAO, *Annex 6 to the Convention on International Civil Aviation, Operation on Aircraft, Part I – International Commercial Air Transport – Aeroplanes, Twelfth Edition*, juli 2022.

Tabel 2: Status van service bulletins en luchtwaardigheidsrichtlijnen die van toepassing zijn op dit voorval.

SB/AD-nummer	Oorspronkelijke publicatiedatum	Onderwerp	Status voor motor 1
SB 72-462	18 maart 1993	Aanvullende koelvoorzieningen HPT.	Niet opgevolgd.
SB 72-488	29 oktober 1993	Ander type segmenten buitenste overgangskanalen.	Opgevolgd.
AD 2012-14-09	7 november 2012	Inspectie van LPT-schoepen, demontage en hermontage van de rotors van HPT en LPT.	Niet opgevolgd. In 2009 vond het meest recente werkplaatsbezoek plaats; dit was vóór publicatie van deze luchtwaardigheidsrichtlijn.
AD 2012-22-16	19 december 2012	Vervanging van bepaalde segmenten van het LPT-kanaal van de derde trap.	Niet van toepassing omdat <i>Service Bulletin 72-488</i> tijdens het werkplaatsbezoek in 1999 was opgevolgd.

In relatie tot *Service Bulletin 72-462* verklaarde de United States Federal Aviation Administration (FAA) dat 'dit service bulletin in 1993 werd gepubliceerd om afbraak van de keramische coating op het kanaalsegment van de tweede trap van de HPT tegen te gaan door er koellucht langs te laten stromen en door de HPT beter af te dichten. De FAA gaf voor deze kwestie geen luchtwaardigheidsrichtlijn uit omdat de afbraak van de keramische coating op de segmenten van het overgangskanaal van de tweede trap van de HPT niet als veiligheidsrisico werd beschouwd.'

2.12 Aanvullende informatie

2.12.1 Berekeningen voor start- en klimprestaties

Analyse van de berekende en werkelijke startprestaties in geval van een motorprobleem tijdens het opstijgen of de initiële klimfase is een standaardonderdeel van elk onderzoek. Deze berekeningen staan hieronder beschreven en worden in bijlage E uitvoeriger behandeld.

Om de berekende parameters en de werkelijke startprestaties te verifiëren, werden gegevens gebruikt uit de gewicht- en zwaartepuntsberekening, de vluchtdaterecorder en de *cockpit voice recorder*. De verschillende startparameters werden berekend met behulp van twee specifiek hiervoor bedoelde softwareprogramma's.³⁷ De berekende parameters werden vergeleken met de werkelijke parameters tijdens de vlucht zoals afgeleid uit de vluchtdaterecorder en de *cockpit voice recorder*.

³⁷ Hiertoe werd gebruikgemaakt van LIDO en de Boeing OPT voor baan 21, kruispunt E1, van Maastricht Aachen Airport voor hetzelfde vliegtuigtype met identieke motoren en met inachtneming van het toepasbare MEL-item.

Maximumstartgewicht en startparameters

De gewicht- en zwaartepuntsberekening bracht geen verschillen aan het licht met het startgewicht dat door de cockpitbemanning bij de berekeningen werd gebruikt. Het resultaat van de berekening gaf aan dat het werkelijke startgewicht lager was dan het maximaal toegestane startgewicht voor baan 21 onder de toen geldende omgevingscondities. De verschillende startsnelheden werden voorafgaand aan de vlucht correct berekend en correct toegepast tijdens het opstijgen en klimmen (de uitkomsten van de berekeningen staan vermeld in bijlage E).

Vaststellen van de werkelijke startafstand en het opstijgpunt

Startbaan 21 van Maastricht Aachen Airport wordt met zijn aanlooptlengte van 2500 meter beschouwd als relatief kort voor vluchtuitvoering met grote vrachtvliegtuigen zoals de Boeing 747. Een korte startbaan betekent dat grote vliegtuigen normaal gesproken niet met hun maximaal toelaatbare startgewicht van zo'n baan kunnen opstijgen. In dit geval wordt het vliegtuig aangeduid met *runway limited*. In de meeste gevallen zullen grote vrachtvliegtuigen alle beschikbare startbaanlengte gebruiken voor een maximale lading. Na het incident spraken verschillende inwoners van plaatsen rond Maastricht Aachen Airport hun bezorgdheid uit over het feit dat grote vrachtvliegtuigen pas aan het uiterste einde van de startbaan loskomen van de grond. In hun ogen is dit een onveilige situatie.

De door de cockpitbemanning berekende startafstand werd geanalyseerd in relatie tot de beschikbare baanlengte. De startafstand werd door de twee programma's berekend op respectievelijk 1930 en 2004 meter. Ondanks dat ze verschillend zijn, liggen deze berekende afstanden ruim onder de beschikbare startafstand van baan 21³⁸ wat aantoont dat het vliegtuig in staat was op te stijgen binnen zowel de operationele grenswaarden als die van de luchthaven.

De Onderzoeksraad voor Veiligheid ontving ook een beeldopname van het vertrekkende vliegtuig, gemaakt door een vliegtuigspotter die buiten de omheining van de luchthaven stond. Na bestudering van de videobeelden werd het werkelijke opstijgpunt geschat op 2000 meter vanaf het begin van baan 21. Op de videobeelden was te zien dat de werkelijke startafstand vrijwel gelijk moet zijn geweest aan de berekende startafstand. De vliegtuigprestaties waren conform de verwachtingen en vielen binnen de operationele grenswaarden en die van de luchthaven.

Klimprestaties

Wanneer vliegtuigen niet met hun maximale startgewicht kunnen opstijgen vanwege een beperkte startbaanlengte zijn hun klimprestaties normaal gesproken meer dan voldoende. Bij het berekenen van de startprestaties voor de bewuste vlucht was het toestel *runway limited* (zie hierboven). Dat hield in dat het maximaal toegestane startgewicht voor het vliegtuig was beperkt overeenkomstig de beschikbare startbaanlengte. Doordat het startgewicht van 343.000 kg ruim onder het maximale startgewicht van 394.625 kg bleef, lag de klimprestatie boven de minimaal vereiste

³⁸ De beschikbare startafstand bedraagt 2500 meter.

klimprestatie zoals gespecificeerd in de vertrekprocedure. De motorstoring deed zich voor op 800 voet boven de grond toen het vliegtuig al bezig was te klimmen en hierdoor was de afname van de klimprestaties minder kritiek.³⁹

Bij het berekenen van de startprestaties wordt bij elk vliegtuigtype, ongeacht het aantal motoren, rekening gehouden met het uitvallen van een motor. Bij een tweemotorig toestel veroorzaakt het uitvallen van een motor 50% vermogensverlies. Bij een viermotorig toestel veroorzaakt het uitvallen van een motor slechts 25% vermogensverlies. In het geval van een motorstoring blijft de vereiste hindernisvrije hoogte aan het eind van de baan gelijk waardoor het opstijgpunt van tweemotorige en viermotorige vliegtuigen nagenoeg hetzelfde is. Bij een normale start zonder motorstoring beschikt een tweemotorig vliegtuig over twee keer de minimumhoeveelheid stuwkracht om de start door te zetten na het bereiken van beslissingssnelheid V_1 ⁴⁰, terwijl dat voor een viermotorig vliegtuig in dezelfde situatie 33% is. Daarom zal de werkelijk gebruikte baanlengte onder normale omstandigheden voor een tweemotorig vliegtuig aanmerkelijk korter zijn dan voor een viermotorig vliegtuig.

2.12.2 Eerdere voorvallen met PW4000-94"-motoren

Volgens gegevens van Pratt & Whitney zijn er sinds 1987 22 voorvallen geweest waarbij de buitenste overgangskanalen zijn losgeraakt. In geen van deze gevallen was er sprake van persoonlijk letsel of schade aan derde partijen, hoewel één geval werd geregistreerd als onbeheerste motorschade met uitwendige schade aan de motorgondel.⁴¹ Het ontwerp van de buitenste overgangskanalen werd aangepast: dit werd aangekondigd middels een *service bullet in* in 1993 (*Service Bulletin 72-488*). In 2012 werd een luchtwaardigheidsrichtlijn (AD 2012-22-16) uitgegeven, waarin werd opgedragen de oorspronkelijke overgangskanaalsegmenten te verwijderen en te vervangen door segmenten van het nieuwe type. In 19 van de 22 gevallen van losgeraakte buitenste overgangskanalen beschikten de betreffende motoren over de oorspronkelijke (oude) versie van de overgangskanaalsegmenten. Eén motor was deels voorzien van de oude versie van de buitenste overgangskanaalsegmenten en de configuratie van twee motoren is onbekend. Zoals reeds vermeld was de bij het voorval betrokken motor voorzien van het nieuwe type buitenste overgangskanaalsegmenten.

³⁹ Dat zou anders zijn geweest wanneer de storing zou zijn opgetreden tijdens de startaanloop direct na beslissingssnelheid V_1 , omdat dat het meest kritische punt is waarop tijdens het opstijgen een motorstoring kan optreden.

⁴⁰ V_1 is de maximumsnelheid tijdens de start waarbij een piloot de eerste actie moet nemen (remmen, vermogen terugnemen, remkleppen activeren) om het vliegtuig tot stilstand te kunnen brengen binnen de 'accelerate-stop distance' (noodstopafstand). V_1 is tevens de minimumsnelheid tijdens de start waarbij de piloot na een storing in de kritische motor bij de motorstoringsnelheid (V_{EP}) de start kan voortzetten en de vereiste hindernisvrije hoogte aan het eind van de baan binnen de startafstand kan bereiken. (<https://skybrary.aero/articles/v1>, geraadpleegd op 20 juli 2022).

⁴¹ Zie hoofdstuk 2.12.4 voor een beschrijving van beheerste en onbeheerste motorstoringen.

2.12.3 Motor uitschakelen tijdens de vlucht

Dankzij hun constructie en onderhoudsprogramma's hebben moderne turbinemotoren een lange levensduur. Deze motoren staan bekend om hun betrouwbaarheid, maar desondanks komen motorstoringen soms voor. Een motorstoring kan ertoe leiden dat een motor tijdens de vlucht moet worden uitgeschakeld. Dat uitschakelen vormt normaal gesproken geen veiligheidsrisico, omdat vliegtuigen erop gemaakt zijn te vliegen met één uitgeschakelde motor.

2.12.4 Risico's voor omwonenden van luchthavens

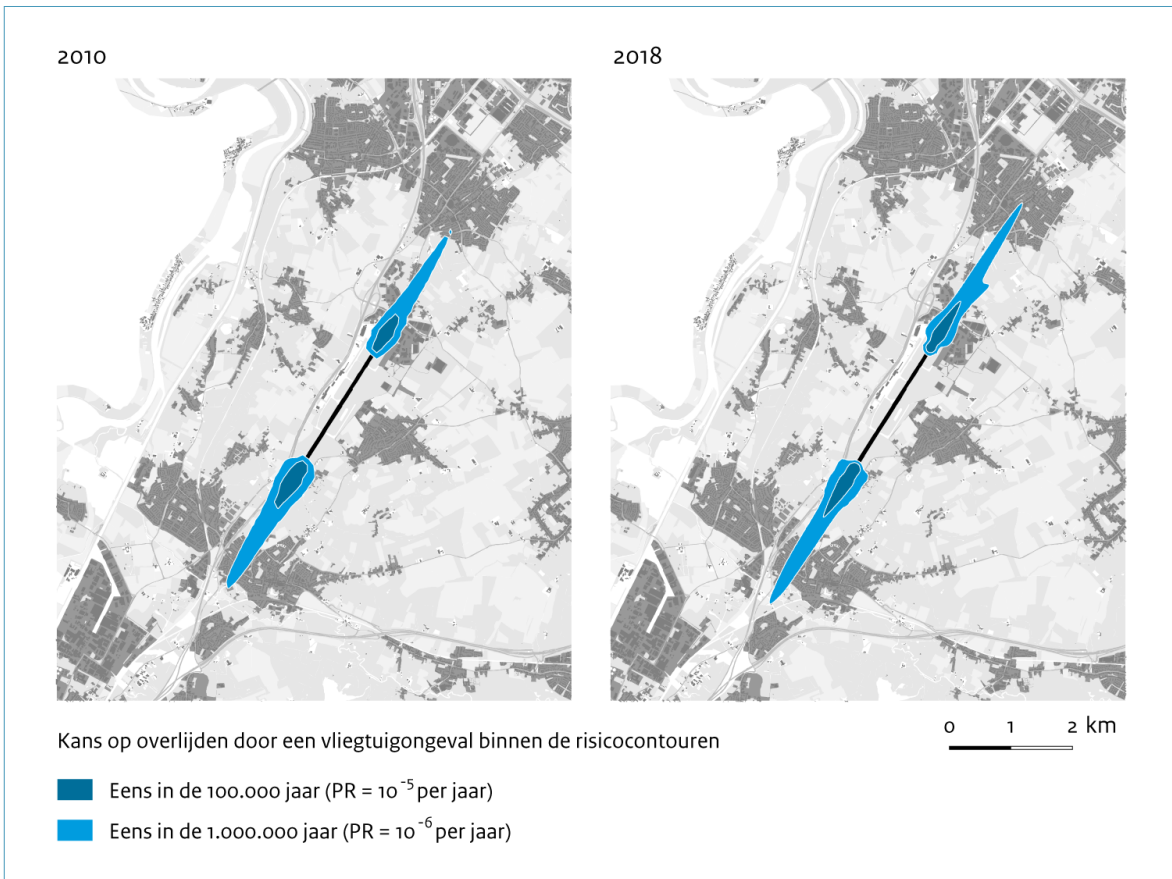
Externe veiligheid

'Luchthavens zijn centra voor het afhandelen van luchtverkeer binnen het luchtvervoersysteem. De aanwezigheid van luchthavens brengt met zich mee dat vliegverkeer samenkomt in de omgeving van die luchthavens. Dat betekent dat mensen die in de omgeving van een luchthaven wonen onvrijwillig worden blootgesteld aan het risico van vliegtuigongevallen.⁴² In geval van een ernstig incident, zoals dit voorval, bestaat er ook risico voor de omwonenden.

De Nederlandse overheid heeft vereisten opgesteld die de veiligheid garanderen van omwonenden van luchthavens in het geval dat zich een vliegtuigongeluk voordoet. De daarop gebaseerde veiligheidscriteria zijn vastgelegd in zogenaamde plaatsgebonden risicocontouren die zich uitstrekken vanaf de uiteinden en in het verlengde van de baan (zie figuur 13). De contouren worden gehanteerd om een indicatie te geven van de kans op overlijden als gevolg van een ongeluk (neerstorten) met een vliegtuig in de onmiddellijke omgeving van een baan. Bij het bepalen van deze contouren wordt bij beoordeling van het externe risico geen rekening gehouden met de mogelijkheid van vallende motorbrokstukken.⁴³ In figuur 13 is in donkerblauw aangegeven waar dit plaatsgebonden risico 10^{-5} per jaar is. Een plaatsgebonden risico van 10^{-6} per jaar is in lichtblauw aangegeven.

⁴² ICAO, *Airport Planning Manual, Part 2 Land Use and Environmental Control, Fourth Edition*, 2018.

⁴³ Compendium voor de Leefomgeving, *Externe veiligheid rond regionale luchthavens, 2010-2018*, augustus 2021 (<https://www.clo.nl/indicatoren/nl2029-externe-veiligheid-regionale-luchthavens>).



Figuur 13: Plaatsgebonden risicocontouren Maastricht Aachen Airport. (Bron: Compendium voor de Leefomgeving)

Certificatiememorandum van de EASA

In 2018 heeft de EASA een certificatiememorandum uitgegeven over onderdelen die door vliegtuigen worden verloren.^{44,45} In dit document wordt geconcludeerd dat bij dit soort gebeurtenissen de kans op letsel aan personen op de grond of schade aan andere vliegtuigen geen onveilige situatie vormt, gegeven het geregistreerde percentage verloren onderdelen per vliegtuig.⁴⁶ Dit certificatiememorandum is echter niet van toepassing op motorbrokstukken die als hoogenergetische ronddraaiende delen worden beschouwd.

Onderzoek ANSV

Het Italiaanse Agenzia Nazionale per la Sicurezza del Volo (ANSV) heeft een rapport⁴⁷ gepubliceerd over hun onderzoek naar een ernstig incident met een Boeing 787-8 dat plaatsvond tijdens de initiële klimfase na te zijn opgestegen van Rome Fiumicino

⁴⁴ EASA, *Certification Memorandum, PARTS DETACHED FROM AEROPLANES, CM-21.A-A-001 Issue 01*, november 2018.

⁴⁵ Dit certificatiememorandum (CM) voorziet in specifieke richtlijnen, die alleen van toepassing zijn op grote vliegtuigen, om te kunnen bepalen of er sprake is van een onveilige situatie bij voorvallen waarbij vliegtuigen onderdelen verliezen. De conclusies in het CM gelden ook voor motoronderdelen die de motor via de achterkant verlaten.

⁴⁶ Volgens AMC 21.A.3B(b), onveilige toestand.

⁴⁷ ANSV, *FINAL REPORT, SERIOUS INCIDENT, Aircraft B787-8 registration marks LN-LND, Rome Fiumicino International Airport, Italy, 10th of August 2019*, januari 2022.

International Airport in Italië op 10 augustus 2019. Op 1028 voet radiohoogte boven de plaats Fiumicino voelde de cockpitbemanning krachtige trillingen, gevolgd door storingsmeldingen voor de linkermotor.⁴⁸ De cockpitbemanning schakelde deze motor uit en keerde terug naar de luchthaven waar een landing met overgewicht werd gemaakt. De inzittenden bleven ongedeerd. Brokstukken, hoofdzakelijk fragmenten van turbineschoepen, kwamen terecht in de straten van Fiumicino en beschadigden verschillende auto's en gebouwen. Op de grond raakte niemand gewond.

Als onderdeel van het onderzoek raadpleegde de ANSV het hierboven genoemde certificatiememorandum. De ANSV deed aan EASA onder meer de volgende aanbeveling: Het wordt aanbevolen om te evalueren of het mogelijk is om het risico dat mensen op de grond door vallende vliegtuigonderdelen worden geraakt opnieuw te beoordelen. Hierbij moeten de meest conservatieve scenario's voor elke vluchtfase in overweging worden genomen om de veiligheid te vergroten. Bijzondere aandacht dient uit te gaan naar mensen die in de omgeving van luchthavens wonen. De resultaten moeten in aanmerking worden genomen bij de volgende certificatievereisten.⁴⁹

Het antwoord van EASA op deze aanbeveling was: [...] De EASA is van mening dat CM-21.A-A-001 Issue 01 reeds conservatief genoeg is om het risico dat mensen op de grond geraakt worden door vallende vliegtuigonderdelen voor alle vluchtfasen af te dekken.

Beheerste en onbeheerste motorstoringen

Motorstoringen waarbij motoronderdelen of fragmenten daarvan losraken, kunnen worden onderverdeeld in beheerst (*contained*) of onbeheerst (*uncontained*). De motor geeft een beheersingsconstructie die bestand is tegen de gevolgen van het losraken van een enkel fan- of turbineblad. Deze constructie is vaak sterk genoeg om gevolgschade, zoals andere losgeraakte bladen en statische onderdelen, binnen de motorbehuizing te houden.⁵⁰ De meeste storingen van een gasturbinemotor zijn beheerst. Dit betekent dat hoewel de onderdelen binnen de motor uit elkaar vallen of losraken zij binnen de motorbehuizing blijven of via de inlaat of uitlaat de motor verlaten. Wat betreft vliegtuigveiligheid kunnen de motorbrokstukken in het betreffende geval beschouwd worden als onderdelen die uit het vliegtuig zijn losgeraakt bij geen of lage initiële snelheid ten opzichte van het vliegtuig (en niet als hoogenergetische draaiende onderdelen).

Onbeheerste motorstoringen waarbij hoogenergetische draaiende onderdelen losraken, vormen een potentieel ernstig gevaar voor de vliegtuiginzittenden, de vliegtuigconstructie, aangrenzende motor(en) en de integriteit van de systemen voor brandstoftoevoer en besturing. In de certificatiespecificaties van EASA⁵¹ zijn ontwerpmaatregelen voor grote vliegtuigen opgenomen om de gevaren van dergelijke motorstoringen te beperken.

⁴⁸ Rolls-Royce Trent 1000 motor.

⁴⁹ Aanbeveling ANSV-10/1147-19/4/1/21.

⁵⁰ EASA, *Easy Access Rules for Engines (CS-E) (Amendment 5)*, februari 2020.

⁵¹ EASA, *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes (CS-25)*, November 2011. and EASA, *Easy Access Rules for Engines (CS-E), (Amendment 5)*, februari 2020.

Vliegtuigen kunnen behalve motoronderdelen ook andere onderdelen verliezen. Daarom zijn er in de initiële luchtwaardigheidsvereisten verschillende scenario's opgenomen waarin wordt uitgegaan van het defect raken van onderdelen zoals deuren en panelen die daarna van of uit het vliegtuig vallen. Deze scenario's zijn gericht op de gevolgen van een defect aan een vliegtuig, waarbij ervan uit wordt gegaan dat een defect geen onmiddellijk veiligheidsrisico vormt voor het vliegtuig zelf of de inzittenden. Vallende brokstukken kunnen echter gevaar opleveren voor mensen op de grond.

2.12.5 Acties genomen door Pratt & Whitney

Naar aanleiding van het betreffende voorval en de onderzoeksbevindingen heeft Pratt & Whitney tijdens de Customer Council Calls in januari en april 2022 het belang van het aanpassen van de koelingsconfiguratie van de hogedrukturbine besproken. Dit onderwerp werd ook besproken tijdens de PW4000 World Operators Conference in november 2022.

In dit hoofdstuk wordt de oorzaak van de motorstoring geanalyseerd. Ook wordt het risico van vallende motoronderdelen voor mensen op de grond geanalyseerd.

De handelingen van de cockpitbemanning in relatie tot de motorstoring zijn tevens geanalyseerd. Onderzoek wees uit dat de vluchtvoorbereiding van de cockpitbemanning, het omgaan met de motorstoring en het uitwijken naar een andere luchthaven werden uitgevoerd overeenkomstig de standaardprocedures in de commerciële luchtvaart.

3.1 De motorstoring

De oorzaak van de motorstoring

Het onderzoek toonde aan dat zowel de buitenste luchtafdichting van de schoepen van de tweede trap van de hogedrukturbine (HPT) als de HPT zelf waren aangetast. Hierdoor werden de buitenste overgangskanalen blootgesteld aan hoge temperaturen. Deze twee factoren zorgden voor het geleidelijk vervormen van de buitenste overgangskanalen. De buitenste overgangskanalen en de bevestigingshaken vervormden en raakten los van de behuizing, waardoor één paneel losraakte en een ander paneel scheurde. Deze panelen veroorzaakten daarna schade aan de turbineschoepen, waardoor fragmenten van de schoepen de motor via de uitlaatpijp verlieten. Het onderzoek toonde aan dat de motorstoring niet werd veroorzaakt door vreemde voorwerpen op de baan, een vogelaanvaring of botsing met een drone. Ook de weersomstandigheden speelden bij dit voorval geen rol.

Uitvoering van service bulletins

Het faalpatroon zoals hierboven beschreven was Pratt & Whitney bekend. Deze fabrikant heeft begin jaren negentig oplossingen voorgesteld die bijdragen aan het voorkomen van dergelijke voorvallen. Deze oplossingen werden ingediend via *service bulletins* en luchtwaardigheidsrichtlijnen (zie bijlage F). Op het moment van verschijnen van dit rapport zijn er geen gevallen van dit faalpatroon gemeld van motoren die werden voorzien van de aanvullende koelvoorzieningen en het nieuwe type buitenste overgangskanaalsegment, zoals voorgeschreven in de *service bulletins* en luchtwaardigheidsrichtlijnen. Daaruit kan geconcludeerd worden dat de voorgestelde maatregelen dit faalpatroon effectief helpen voorkomen. Tijdens het onderzoek werd echter informatie van Pratt & Whitney ontvangen waaruit bleek dat (onder bepaalde omstandigheden) het losraken van een buitenste overgangskanaal nog steeds mogelijk is na het uitvoeren van *Service Bulletin 72-488* en *Service Bulletin 72-462*, maar dat de in deze bulletins beschreven aanpassingen de kans op dergelijke voorvallen in grote mate beperken.

De bij dit voorval betrokken motor was niet aangepast overeenkomstig *Service Bulletin 72-462*, waarin aanvullende koelvoorzieningen voor de HPT werden geadviseerd. Dit *service bulletin* is bedoeld om de hoge temperaturen in de HPT te beperken, om het defect raken van de buitenste overgangskanalen en daarmee gevolgschade aan onderdelen van de HPT en LPT te voorkomen. Volgens analytische modellen van Pratt & Whitney zou het falen van de buitenste overgangskanalen niet hebben plaatsgevonden als *Service Bulletin 72-462* zou zijn opgevolgd. Deze claim lijkt geloofwaardig omdat er tijdens het onderzoek geen vergelijkbare faalpatronen werden gevonden bij motoren die wel van de extra koelvoorzieningen waren voorzien.

Zoals hierboven vermeld was de motor niet voorzien van de aanvullende koelvoorzieningen die waren voorgesteld in *Service Bulletin 72-462*. De motor was wel voorzien van buitenste overgangskanaalsegmenten van het nieuwe type, zoals voorgesteld in *Service Bulletin 72-488*. Ondanks dat de motor was voorzien van overgangskanaalsegmenten van het nieuwe type kon de temperatuur gedurende een lange periode stijgen tot een waarde die schade veroorzaakte. Deze schade leidde tot het loslaten van panelen van de buitenste overgangskanalen en uiteindelijk motorschade. Dit had voorkomen kunnen worden als ook de aanvullende koelvoorzieningen zouden zijn aangebracht. Opgemerkt moet worden dat dit volgens Pratt & Whitney het eerst bekende voorval was waarbij buitenste overgangskanalen van het nieuwe type defect raakten in een motor van de PW4000-94"-serie.

De configuratie waarin de motor werd aangetroffen was toelaatbaar aangezien het niet verplicht was *Service Bulletin 72-462* op te volgen. Doorgaans wegen luchtvaartmaatschappijen bij het invoeren van *service bulletins* verschillende financiële, operationele en veiligheidsgerelateerde factoren tegen elkaar af. De aanbevolen aanpassingen kunnen tijdens een regulier of ingelast werkplaatsbezoek worden uitgevoerd.

Het *service bulletin* had nalevingscategorie code 5⁵², wat inhoudt dat de aanpassingen uitgevoerd kunnen worden wanneer de motor tijdens regulier onderhoud zodanig ver is gedemonteerd dat deze aanpassingen geen extra tijd kosten. Tijdens regulier onderhoud, uitgevoerd in 1999 en 2009, werd de motor gedemonteerd (zie tijdlijn in bijlage F). In die tijd werden het vliegtuig en de motor door een andere luchtvaartmaatschappij gebruikt. Een luchtvaartmaatschappij mag zelf beslissen een *service bulletin* al of niet op te volgen. Om die reden had de oorspronkelijke beslissing voor het al dan niet opvolgen van *Service Bulletin 72-462* genomen (en vastgelegd) moeten zijn door die luchtvaartmaatschappij. Hoewel de luchtvaartmaatschappij die het vliegtuig tijdens het voorval gebruikte niet verantwoordelijk was voor de beslissing om *Service Bulletin 72-462* niet op te volgen tijdens de werkplaatsbezoeken in 1999 en 2009, kon deze geen documentatie overleggen waaruit zou moeten blijken waarom *Service Bulletin 72-462* niet was opgevolgd. De inhoud van het *service bulletin* werd niet als een urgente veiligheidskwestie beschouwd.

52 Zie Tabel 3 in bijlage F voor een uitleg van deze codes, die door Pratt & Whitney zijn gedefinieerd.

De motor raakte defect doordat een paneel van het buitenste overgangskanaal losraakte en een ander paneel scheurde doordat de hogedrukturbine gedurende langere tijd werd blootgesteld aan hoge gastemperaturen. Dit veroorzaakte vervolgschade aan zowel de hogedrukturbine als de lagedrukturbine. Dit faalpatroon is vergelijkbaar met voorvallen die in het verleden hebben plaatsgevonden.

De motor werd niet aangepast overeenkomstig de aanbevelingen in *Service Bulletin 72-462*, waarin onder meer het aanbrengen van aanvullende koelvoorzieningen in de hogedrukturbine werd geadviseerd.

Hoewel de luchtvaartmaatschappij niet verantwoordelijk was voor de beslissing om *Service Bulletin 72-462* niet uit te voeren tijdens de werkplaatsbezoeken in 1999 en 2009, kon deze geen documentatie overleggen waaruit zou moeten blijken waarom *Service Bulletin 72-462* niet was uitgevoerd.

Inspecties

Tijdens normale onderhoudsinspecties van de hete sectie van een straalmotor wordt er geen speciale aandacht geschonken aan eventuele beschadigingen aan de buitenste overgangskanalen in de LPT die zouden kunnen duiden op het losraken daarvan. Normale slijtage en veroudering zijn geen tekenen die erop wijzen dat onderdelen dreigen los te raken. Volgens Pratt & Whitney is het daarom niet waarschijnlijk dat bij een eerdere boroscoopinspectie aanwijzingen zouden zijn gevonden aan de hand waarvan het losraken van overgangskanalen kon worden voorzien.

Sinds dit incident heeft Pratt & Whitney een inspectie ontwikkeld, deels voortvloeiend uit dit incident, die specifiek gericht is op verergerende factoren. Een daarvan is het afsplinteren van de coating van de buitenste luchtafdichtingen van de schoepen van de tweede trap van de HPT, waardoor er thermische spanning ontstaat op de bevestigingshaak van het buitenste overgangskanaal.

3.2 De motorstoring en externe veiligheid

Dit hoofdstuk behandelt het risico van vallende motorbrokstukken voor mensen op de grond. Al enkele jaren ontvangt de Onderzoeksraad voor Veiligheid brieven van mensen die in de omgeving van Maastricht Aachen Airport wonen, waarin ze hun gevoelens van onveiligheid aangeven. Hun zorgen rond veiligheid omvatten uiteenlopende onderwerpen, zoals dakpannen die van huizen dicht in de buurt van de luchthaven waaien als gevolg van zogturbulentie⁵³, de risico's die zijn verbonden aan ongewone (nood)situaties waarbij vliegtuigen het industrieterrein Chemelot dicht naderen, nadelige gevolgen voor de gezondheid van omwonenden als gevolg van geluidsoverlast en luchtvervuiling en de risico's die zijn verbonden aan zware vrachtvliegtuigen die relatief laag over verschillende dorpen vliegen, waaronder Meerssen, Geverik en Beek. Het

⁵³ Zogturbulentie is de turbulentie die ontstaat in het zog van een vliegtuig in vlucht.

betreffende geval heeft betrekking op het laatste onderwerp en laat zien dat het gevaar van losgeraakte vallende brokstukken werkelijk bestaat en daarmee bijdraagt aan gevoelens van onveiligheid.

In het algemeen wordt binnen de commerciële luchtvaart gestreefd naar een hoog veiligheidsniveau. Uit het oogpunt van luchtvaartveiligheid kan dit voorval worden beschouwd als een incident met een relatief laag risico wat betreft het functioneren van het vliegtuig zelf. De motorstoring leidde niet tot gevolgschade aan het vliegtuig en het viermotorige toestel kan vliegen met één uitgeschakelde motor. Bovendien was de cockpitbemanning gecertificeerd en goed getraind zodat zij de motorstoring overeenkomstig de daarvoor geldende procedures kon afhandelen. Toch had dit voorval een negatief effect op het hoge veiligheidsniveau, raakten twee mensen op de grond gewond en raakten huizen en auto's beschadigd.

Zowel het vliegtuig als de motor werden ontworpen en getest om te voldoen aan een reeks certificeringsspecificaties. Als onderdeel van dit proces worden tal van mogelijke systeemstoringen en de gevolgen daarvan in kaart gebracht. Deze certificeringsvereisten worden tijdens de gebruiksduur van een vliegtuig en motor gehandhaafd via een procedure die is gericht op permanente luchtwaardigheid. Ondanks certificering en de vereisten voor permanente luchtwaardigheid kan een storingsvrije vluchtuitvoering niet gegarandeerd worden.

Dit specifieke incident toont aan dat er gevaar voor mensen op de grond ontstond doordat brokstukken van de turbine de motor via de uitlaat verlieten en werden verspreid over het dorp Meerssen. Doordat er veel luchtverkeer samenkomt boven gebieden in de omgeving van luchthavens, bestaat daar een grotere kans op voorvallen. In het betreffende geval komt er veel luchtverkeer samen boven de dorpen Meerssen, Geverik en Beek. Dat betekent dat de betrokken inwoners onvrijwillig worden blootgesteld aan het risico van vallende motorbrokstukken, dat waarschijnlijk hoger is dan in de andere woongebieden rondom de luchthaven.

In de luchtvaartsector is de omvang van het risico van vallende motorbrokstukken niet vastgesteld en niet omgezet in regelgeving. De kans op overlijden als gevolg van een ongeluk (neerstorten) van een vliegtuig in de onmiddellijke omgeving van een baan is wel vastgelegd. Dit risico wordt beheerst aan de hand van plaatsgebonden risicocontouren. Deze risicocontouren geven gebieden aan waar luchtverkeer in de omgeving van luchthavens samenkomt, maar zijn niet van toepassing op vallende motoronderdelen. Certificeringsmemorandum CM-21.A-A-001 geeft een indicatie van het risico van vallende motorbrokstukken voor mensen op de grond. Dit memorandum bevat niet-bindende informatie en geen certificeringsvereisten of wettelijke verplichtingen. Het kan worden gezien als een vertrekpunt voor het ontwikkelen van een risicoanalyse die uiteindelijk moet leiden tot regelgeving omtrent de risico's van vallende motorbrokstukken voor mensen op de grond. De noodzaak tot het herzien van de risicoanalyse wordt onderstreept door het onderzoeksrapport van de Italiaanse ANSV over het incident boven Fiumicino in 2019.

Gezien de mate waarin de inwoners van Meerssen gevoelens van onveiligheid ervaren en het feit dat de plaats in een gebied ligt waarboven luchtverkeer samenkomt, is de Onderzoeksraad van mening dat moet worden vastgesteld hoe groot het risico op vallende motorbrokstukken is. In het algemeen worden mensen die in de buurt van een luchthaven wonen blootgesteld aan ten minste twee soorten risico's: ten eerste, vallende onderdelen van vliegtuigen en ten tweede, vliegtuigongevallen. Tot op heden is er voor woongebieden rondom Maastricht Aachen Airport geen routinematige risico-inschatting van vallende onderdelen van vliegtuigen, zoals motorbrokstukken, gemaakt. De Onderzoeksraad voor Veiligheid is van mening dat er op basis van de uitkomst van zo'n risico-inschatting een beslissing zou moeten worden genomen over de aanvaardbaarheid van deze lokale risico's.

De motorstoring bracht het vliegtuig niet ernstig in gevaar. De fragmenten van de turbine die via de uitlaat van de motor werden verloren, vormden echter wel een gevaar voor personen en eigendommen op de grond.

De motorstoring heeft aangetoond dat het gevaar van vallende motorbrokstukken reëel is en kan leiden tot persoonlijk letsel en materiële schade. Dit incident heeft het gevoel van onveiligheid bij de inwoners versterkt. In het algemeen worden mensen die in de buurt van een luchthaven wonen blootgesteld aan ten minste twee soorten risico's: ten eerste, vallende onderdelen van vliegtuigen en ten tweede, vliegtuigongevallen. Tot op heden is er voor woongebieden rondom Maastricht Aachen Airport geen routinematige risico-inschatting van vallende onderdelen van vliegtuigen, zoals motorbrokstukken, gemaakt. Op basis van de uitkomst van zo'n risico-inschatting zou een beslissing moeten worden genomen over de aanvaardbaarheid van deze lokale risico's.

4 CONCLUSIES

Uit het onderzoek naar deze beheerste motorstoring en het daaropvolgende verlies van motorbrokstukken bleek dat de turbine van motor nummer één van het betreffende toestel defect was geraakt. Het falen van de turbine en motor werd veroorzaakt door langdurige blootstelling van de hogedrukturbine aan gassen met hoge temperatuur, wat tot slijtage en vervorming van de buitenste overgangskanaalpanelen leidde. Hierdoor raakte een van die panelen los en scheurde een tweede paneel waardoor de turbine zwaar beschadigd raakte. Als gevolg hiervan werden brokstukken van de motor – onderdelen van de turbine – via de uitlaat uitgestoten en kwamen die terecht in het dorp Meerssen.

Het probleem van losrakende panelen van de buitenste overgangskanalen is sinds de jaren tachtig bij de motorfabrikant bekend. Om het defect raken van de buitenste overgangskanalen en het turbinegedeelte te helpen voorkomen, zijn er sinds 1993 verschillende *service bulletins* gepubliceerd. Ook werden er luchtvaartwaardigheidsrichtlijnen gepubliceerd om de betrouwbaarheid van de buitenste overgangskanalen en veilige werking van de motor te garanderen. De voorgestelde verbeteringen omvatten onder meer extra koelvoorzieningen voor de hogedrukturbine en de installatie van een nieuw type panelen van de buitenste overgangskanalen. Het onderzoek toonde aan dat de motor was voorzien van panelen van het nieuwe type, maar dat de motor niet beschikte over de aanvullende koelvoorzieningen. De aanvullende koelvoorzieningen waren bedoeld om te hoge gastemperaturen te voorkomen. Het installeren van deze koelvoorzieningen, zoals geadviseerd in een *service bulletin*, was niet verplicht.

De huidige luchtvaartmaatschappij, die het toestel ten tijde van het incident drie maanden in gebruik had, was niet verantwoordelijk voor het niet opvolgen van *Service Bulletin 72-462* tijdens de werkplaatsbezoeken in 1999 en 2009. De luchtvaartmaatschappij kon geen documentatie overleggen waaruit zou moeten blijken waarom dit *service bulletin* niet was opgevolgd.

Een adequate administratie van onderhoudsdocumentatie stelt een luchtvaartmaatschappij en diens onderhoudsorganisatie in staat de juiste beslissingen te nemen ten aanzien van risicobeheersing aangaande de permanente luchtwaardigheid van hun vliegtuigen. Dat is van groot belang voor het veilige gebruik van, in dit geval, de motor gedurende diens operationele levensduur.

Doordat er boven gebieden in de omgeving van luchthavens veel luchtverkeer samenkomt, bestaat daar een grotere kans op incidenten. In het betreffende geval komt er veel luchtverkeer samen boven de dorpen Meerssen, Geverik en Beek. Dat betekent dat de betrokken inwoners onvrijwillig worden blootgesteld aan het risico van vallende motorbrokstukken, dat waarschijnlijk hoger is dan in de andere woongebieden rondom

de luchthaven. De motorstoring heeft aangetoond dat het gevaar van vallende motorbrokstukken reëel is en kan leiden tot persoonlijk letsel en materiële schade. Het betreffende geval heeft het gevoel van onveiligheid bij de inwoners versterkt.

Mensen die in de buurt van een luchthaven wonen, worden blootgesteld aan ten minste twee soorten risico's: vallende onderdelen van vliegtuigen en vliegtuigongevallen. Tot op heden is er voor woongebieden rondom Maastricht Aachen Airport geen routinematige risico-inschatting van vallende onderdelen van vliegtuigen, zoals motorbrokstukken, gemaakt. De Onderzoeksraad voor Veiligheid is van mening dat er op basis van de uitkomst van zo'n risico-inschatting een beslissing zou moeten worden genomen over de aanvaardbaarheid van deze lokale risico's.

5 AANBEVELINGEN

De Onderzoeksraad voor Veiligheid doet de volgende aanbevelingen:

Aan Longtail Aviation:

1. Zorg voor een volledige en toegankelijke administratie van het (niet) opvolgen van *service bulletins* voor de motoren die voor de vloot van uw verkeersvliegtuigen geleased worden.

Aan de United States Federal Aviation Administration:

2. Overweeg opnieuw of *Service Bulletin 72-462*, gezien het risico voor derden, via een luchtwaardigheidsrichtlijn verplicht moet worden gesteld.

Aan de ministerie van Infrastructuur en Waterstaat:

3. Voer voor de woongebieden rondom Maastricht Aachen Airport een beoordeling uit van de risico's verbonden aan vallende vliegtuigonderdelen, zoals motorbrokstukken, en publiceer de resultaten hiervan.

REACTIES OP HET CONCEPTRAPPORT

Een conceptversie van dit rapport is, zoals bepaald in de Rijkswet Onderzoeksraad voor Veiligheid, aan de betrokken partijen voorgelegd ter beoordeling. De volgende partijen zijn gevraagd het rapport te controleren op feitelijke onjuistheden en onduidelijkheden:

- Air Accidents Investigation Branch
- Luchtverkeersleiding Nederland
- Belgian Air Accident Investigation Unit
- Bureau of Enquiry and Analysis for Civil Aviation Safety
- Europees agentschap voor de luchtvaartveiligheid
- Federal Aviation Administration
- Leden van de cockpitbemanning
- Longtail Aviation
- Maastricht Aachen Airport
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
- National Transportation Safety Board
- Pratt & Whitney
- The Boeing Company

De ontvangen reacties en de manier waarop die werden verwerkt, staan vermeld in een tabel die te vinden is op de website van de Onderzoeksraad voor Veiligheid (www.onderzoeksraad.nl).

De ontvangen reacties kunnen in de volgende categorieën worden onderverdeeld:

- Correcties en feitelijke onjuistheden, aanvullende gegevens en redactioneel commentaar die door de Onderzoeksraad voor Veiligheid werden overgenomen (waar correct en van toepassing). De relevante passages werden in het eindrapport gewijzigd.
- Niet-opgenomen reacties; de reden voor dit besluit wordt in de tabel verklaard.

Longtail Aviation wilde geen commentaar geven op het conceptrapport.

IN MEERSSEN GEVONDEN TURBINEDELEN

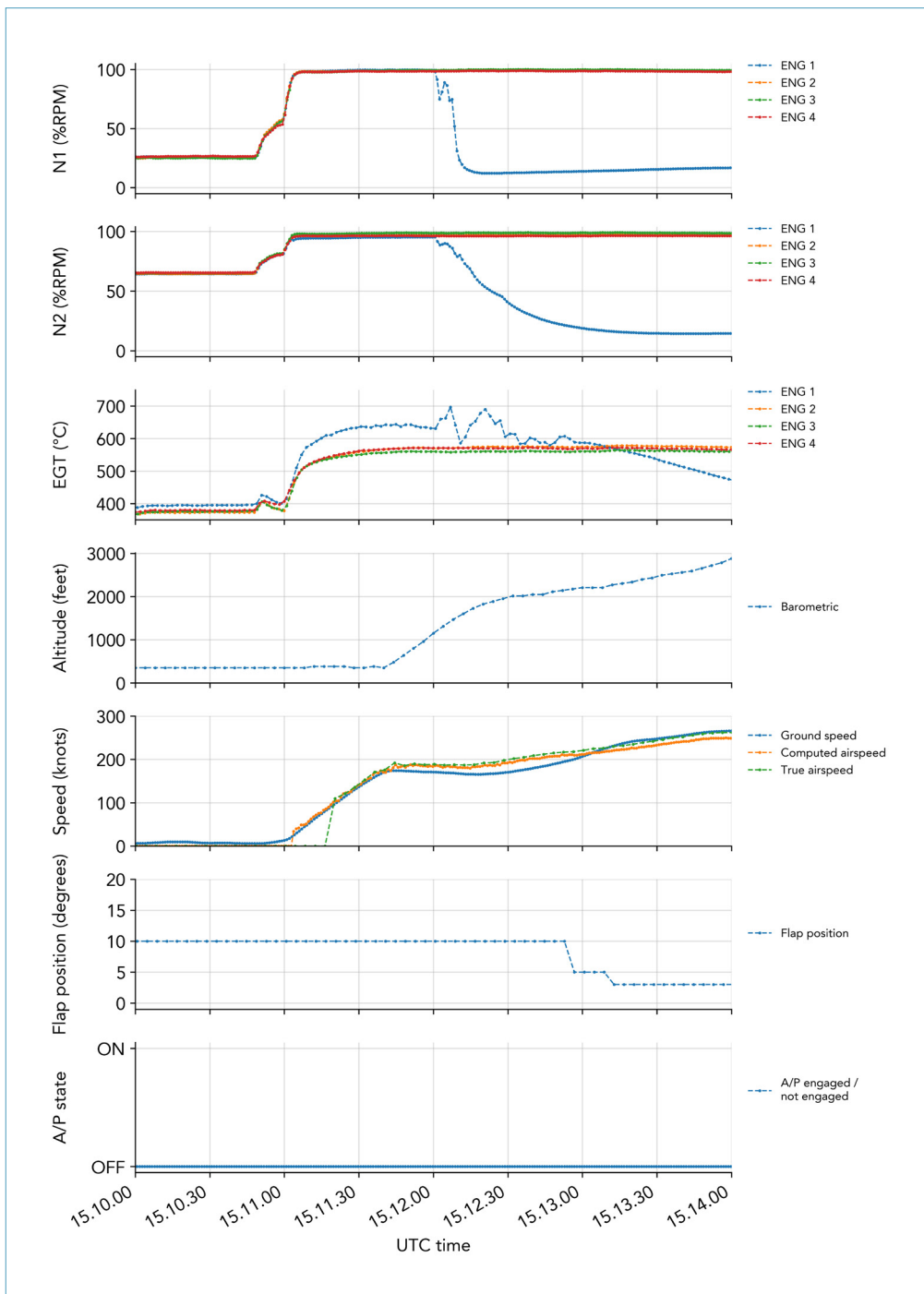


Figuur 14: Onderdeel van turbine.
(Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

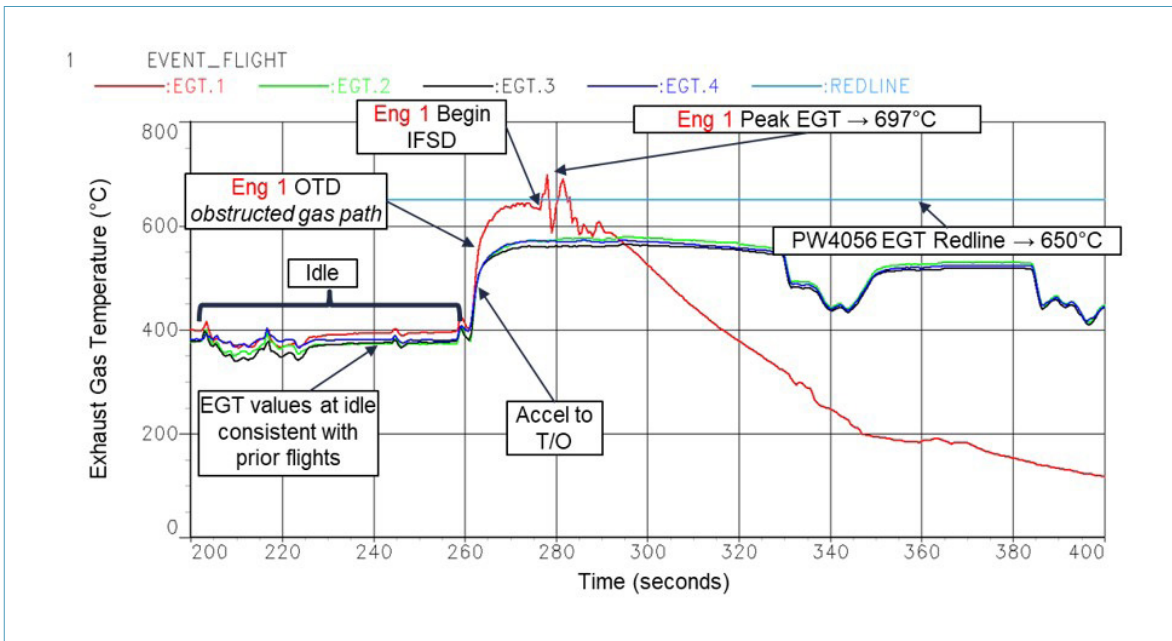


Figuur 15: Onderdelen van turbine. (Bron: Onderzoeksraad voor Veiligheid)

VLUCHTPARAMETERS VLUCHTDATARECORDER



Figur 16: Vluchtparameters. (Bron: gegevens uit vluchtdatarecorder)



Figuur 17: Uitlaatgastemperatuur. (Bron: Pratt & Whitney)

De grafische weergave is gebaseerd op gegevens uit de vluchtdatarecorder. Tijdens het stationair draaien van de motoren voorafgaand aan het opstijgen lagen de uitlaatgastemperaturen (EGT) rond de 400 °C. Na het verhogen van het motortoerental voor de startaanloop begon de EGT van motor 1 af te wijken en liep deze op tot ca. 650 °C. De motor werd uitgeschakeld na twee temperatuurpieken van bijna 700 °C, waarna de EGT geleidelijk afnam.

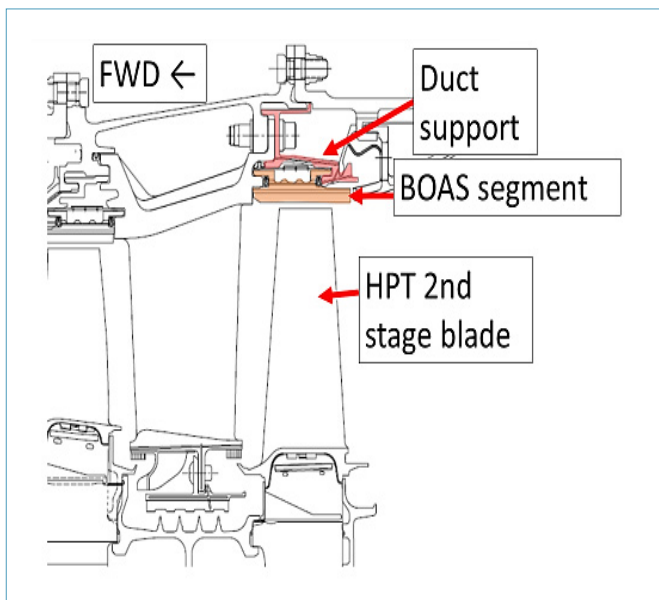
METALLURGISCHE ANALYSE

De volgende onderdelen werden verder onderzocht in de onderhoudswerkplaats van Pratt & Whitney in East Hartford, Connecticut, VS:

- de LPT-turbinebehuizing, schoepen van derde trap LPT, buitenste overgangskanalen (OTD), binnenste overgangskanalen en resterende afdichtingen (gemonteerd).
- Tweede BOAS (buitenste luchtafdichting turbineschoep) van HPT en bevestigingen voor BOAS (gemonteerd).
- Fragmenten van schoepen derde trap LPT en van OTD, bij demontage gevonden in het overgangsgedeelte.

Definitieve demontage en evaluatie van de onderdelen vonden plaats in juli 2021. De analyse van de invloed van de oorspronkelijke configuratie van de HPT op de buitenste overgangskanalen werd uitgevoerd in september 2021.

Pratt & Whitney voerde een metallurgisch onderzoek uit van de BOAS van de tweede trap HPT en de kanaalbevestigingen en noteerde de bevindingen in een rapport.⁵⁴ De belangrijkste bevindingen worden hieronder beschreven.



Figuur 18: Segment van BOAS en schoep van tweede trap HPT. (Bron: Pratt & Whitney)

54 Pratt & Whitney Materials & Processes Engineering, *Metallurgical Investigation Final Report*, december 2021.

Bevindingen metallurgisch onderzoek

Buitenste luchtafdichtingen turbineschoep van tweede trap

Vastgesteld werd dat de buitenste luchtafdichtingen van de turbineschoepen van de tweede trap temperaturen hadden bereikt van meer dan 2000 °F (1093 °C)

Visuele waarnemingen:

- Verschillende BOAS vertoonden in aanzienlijke mate afgesplinterde coating
- 19 van de 20 BOAS vertoonden afsplintering van de coating, vooral aan de achterranden

Observaties van de metallurgische afdeling:

- Het metaal van de gescheurde/afgesplinterde coating van de BOAS bereikte temperaturen tussen 2000-2500 °F (1093-1371 °C)
- Blootgesteld aan temperaturen in het gastraject bij normale werking
- Hardheid consistent met typische materiaalvereisten

Buitenste overgangskanalen

Er werd vastgesteld dat de buitenste overgangskanalen (OTD) temperaturen van meer dan 1093 °C bereikten

Visuele waarnemingen:

- De buitenste overgangskanalen vertoonden scheurtjes, slijtage en vervorming
- Interferometrie met wit licht toont slijtage van maximaal 0,0009" (0,2286 mm)

Observaties van de metallurgische afdeling:

- De microstructuur van het losgeraakte buitenste overgangskanaal vertoonde blootstelling aan hoge temperaturen
- De intacte buitenste overgangskanalen vertoonden blootstelling aan temperaturen tussen 2000-2050 °F (1093 en 1121 °C)
- Het temperatuurmodel schat een temperatuurbereik van 1550-1785 °F (843 en 974 °C)

Behuizing lagedrukturbine

Er werd vastgesteld dat de behuizing van de lagedrukturbine temperaturen bereikte van meer dan 1600 °F (871 °C)

Visuele waarnemingen:

- In de omgeving van de buitenste overgangskanalen vertoonde de behuizing van de lagedrukturbine uitstulping en vervorming
- De uitstulping is zichtbaar vanaf positie 2 tot positie 13 van de voeringssegmenten

Observaties van de metallurgische afdeling:

- De bulkmicrostructuur toont oplossing van de interkristallijne fase, wat wijst op blootstelling aan hoge temperaturen.
- De verminderde hardheid van de behuizing van de LPT duidt op blootstelling aan een temperatuur van minstens 1650 °F (900 °C)

Resultaten onthechtingstest structurele kruip

De (dog bone) afdichting van de HPT heeft een aanzienlijke invloed op het moment van losraken van de OTD.

Configuratie met eerdere versie van de HPT (dog bone) afdichting (groen) voorspelde dat losraken drie keer sneller zou verlopen.

BEREKENING VOOR STARTPRESTATIES

De cockpitbemanning voerde in de *electronic flight bag* de volgende parameters in voor het berekenen van de startprestaties:

Temperatuur	16 °C
QNH	1011 hPa
Baan/intersectie	21/E1
Anti-ijsvorming	Uitgeschakeld
Toestand van de baan	Droog
Geselecteerde mate van gereduceerd vermogen	Maximaal vermogen, 'assumed temperature' niet toegepast
Packs aan of uit	Aan
Beschikbare aanlooptegte	2500 meter
Beschikbare baanlengte startafstand	2500 meter
Beschikbare baanlengte voor noodstop	2500 meter

De berekening van de startprestaties leverde de volgende waarden op:

Stand van flaps: 20

V_1	142 kt
V_r	156 kt
V_2	169 kt

	LIDO	OPT
TOGW ⁵⁵	342,400 kg	342,411 kg
PLTOW ⁵⁶	343,600 kg	343,395 kg

V_1	141 kt	142 kt
V_r	156 kt	156 kt
V_2	169 kt	169 kt

Vol startvermogen, Flaps stand 20 voor opstijgen

⁵⁵ Take Off Gross Weight.

⁵⁶ Performance Limited Takeoff Weight.

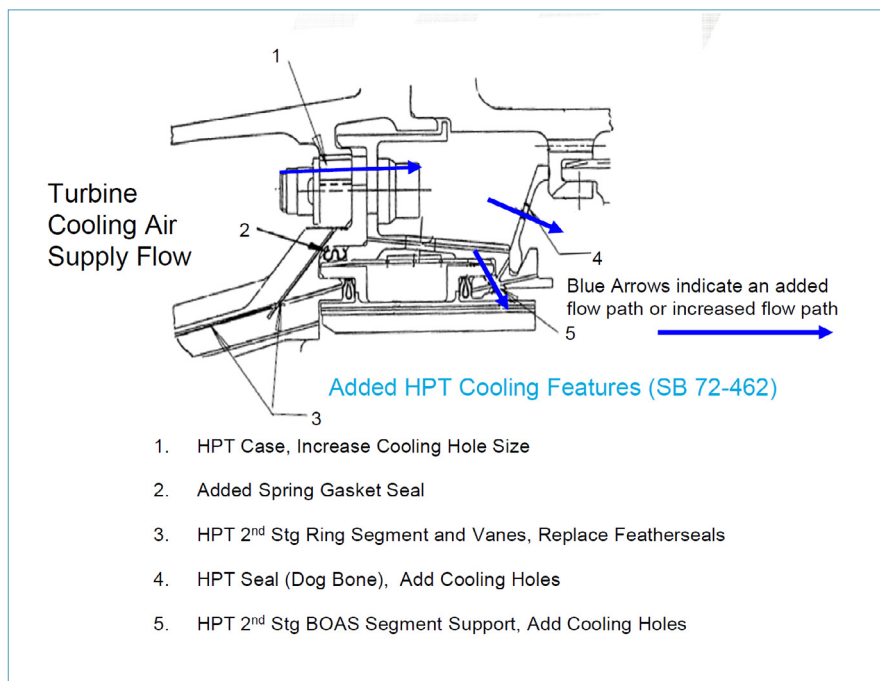
SERVICE BULLETINS EN LUCHTWAARDIGHEIDSRICHTLIJNEN

Service bulletins

Service Bulletin 72-462

Service Bulletin 72-462 werd gepubliceerd op 18 maart 1993, omdat bij motoren met een groot aantal bedrijfsuren afbraak van de keramische coating van de kanaalsegmenten van de tweede trap HPT was vastgesteld. Om de duurzaamheid van deze segmenten te verbeteren is aanvullende luchtkoeling voor de segmenten vereist. Aanpassingen aan de behuizing van de HPT, kanaalbevestigingen en de 'dog bone'-afdichting van de tweede trap zorgen dat er meer lucht langs de kanaalsegmenten van de tweede trap kan stromen.

Service Bulletin 72-462 was van categorie 6, voorafgaand aan de herziening tot categorie 5 in het jaar 2000.⁵⁷ Het bulletin werd bijgewerkt om te zorgen voor snellere opvolging.



Figuur 19: Aanvullende koelvoorzieningen HPT (*Service Bulletin 72-462*). (Bron: Pratt & Whitney)

⁵⁷ De verschillende categorieën worden later in deze bijlage beschreven.

Service Bulletin 72-488

Pratt & Whitney constateerde dat de geklonken afdichtplaten op de segmenten van de buitenste overgangskanalen, ook wel kanaalsegmenten van de derde trap lagedrukturbine genoemd, kunnen losraken en terecht kunnen komen in het kanaal van de lagedrukturbine als gevolg van normale motortrillingen.

Op 31 augustus 2009 werd *Service Bulletin 72-488*, oorspronkelijk gepubliceerd op 29 oktober 1993, opgewaardeerd van categorie 8 naar categorie 6. Dit bulletin adviseerde de installatie van een gewijzigd type buitenste overgangskanaalsegmenten tijdens het eerstvolgende werkplaatsbezoek, wanneer het betreffende motorgedeelte daarvoor toegankelijk was. Alle segmenten moesten als complete set worden vervangen.

Luchtwaardigheidsrichtlijnen

Luchtwaardigheidsrichtlijn 2012-14-09

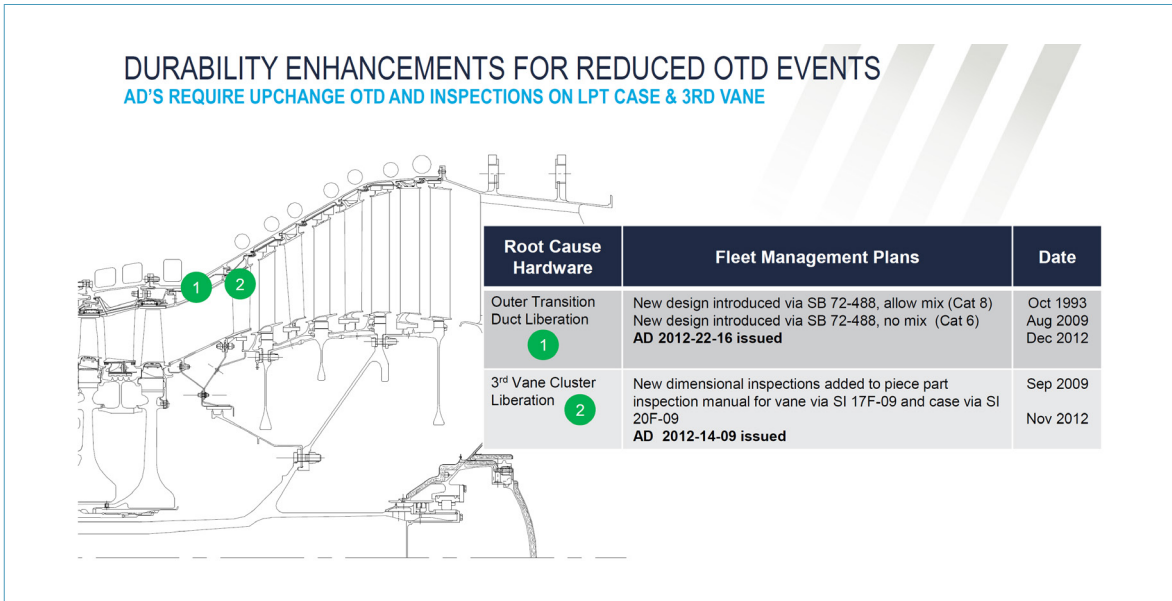
Deze luchtwaardigheidsrichtlijn (AD) is van kracht sinds 7 november 2012 en vereist dimensionale inspecties van de schoepen van de derde trap LPT en het achterste deel van de turbinebehuizing, inspectie van de schoepen van de vierde trap van de LPT bij de eerstvolgende revisie van de LPT en het verwijderen van aerodynamische 'fillet' (vloeistuk) schoepen met afwijkende kromtestralen en schoepen die vaker dan één keer werden gestript en opnieuw gecoat. Deze AD vereist ook demontage en hermontage van de rotor van de tweede trap van de HPT en de rotor van de derde trap HPT bij de eerstvolgende revisie van de HPT en LPT.

Deze AD werd uitgegeven ter voorkoming van scheurvorming in de schoepen van de derde en vierde trap van de LPT, beschadiging van de LPT-rotor, onbeheerste motorstoring en schade aan het vliegtuig.

In 2009 vond het meest recente werkplaatsbezoek van de betreffende motor plaats. Dit was vóór publicatie van deze AD. Daardoor was deze AD niet opgevolgd.

Luchtwaardigheidsrichtlijn 2012-22-16

Sinds 19 december 2012 is Luchtwaardigheidsrichtlijn 2012-22-16 van kracht. Deze AD is bedoeld om falen van de kanaalsegmenten van de derde fase van de LPT, mogelijke vervolgschade aan de rotor van de LPT, onbeheerste motorschade en schade aan het vliegtuig te voorkomen. Deze AD vereist vervanging van bepaalde kanaalsegmenten van de derde trap van de LPT.

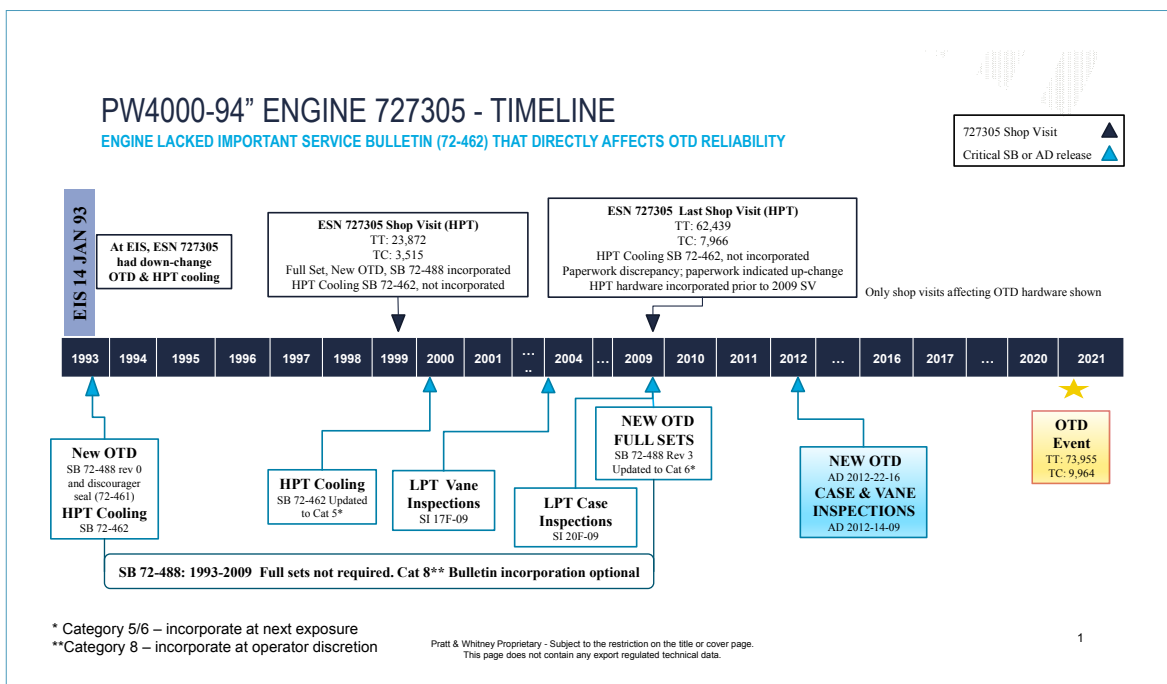


Figuur 20: Duurzaamheidsverbeteringen die bijdragen aan minder incidenten met buitenste overgangskanalen.
 (Bron: Pratt & Whitney)

Tabel 3: Codes van nalevingscategorieën van service bulletins van Pratt & Whitney)

Codes van nalevingscategorieën (service bulletin)	
Code	Omschrijving
1	Uitvoeren voorafgaand aan daaropvolgende vlucht
2	Uitvoeren bij de eerste gelegenheid dat het vliegtuig op een buitenstation of luchthaven van onderhoud deze procedures kan ondergaan.
3	Uitvoeren na elke "xxx" uur (of "xxx" cycli).
4	Uitvoeren bij de eerste gelegenheid dat de motor of module zich bevindt op een luchthaven van onderhoud waar deze procedures uitgevoerd kunnen worden ongeacht het geplande onderhoud of de reden tot het verwijderen van de motor.
5	Uitvoeren wanneer de motor voldoende is gedemonteerd om toegang te krijgen tot de gewijzigde subconstructie (bijv. module, hulpaggregaten, onderdelen, samenbouw) en alle te vervangen reservesubconstructies.
6	Uitvoeren wanneer de subconstructie (bijv. module, hulpaggregaten, onderdelen, samenbouw) zodanig uit elkaar is gehaald (voor een bepaald onderhoud) dat er toegang is verkregen tot het gewijzigde onderdeel en alle gewijzigde reservedelen.
7	Uitvoeren wanneer de voorraad van het oude type onderdelen geheel is opgebruikt.
8	Uitvoeren wanneer de luchtvaartmaatschappij denkt dat vervanging nodig is op basis van ervaringen met de te vervangen onderdelen.

Tijdlĳn PW4000-94"-motor met serienummer 727305



Figuur 21: Tijdlĳn PW4000-94"-motor met serienummer 727305. (Bron: Pratt & Whitney)

In figuur 21 vermeldt het vakje van het meest recente werkplaatsbezoek een afwijking in het papierwerk, wat erop duidde dat ESN 727305 reeds was voorzien van de nieuwe componenten. De afwijking betrof het onderdeelnummer van de dog bone-afdichting van de HPT. De Onderzoeksraad voor Veiligheid onderzocht niet of en in welke mate deze afwijking van invloed kan zijn geweest op de besluitvorming van vroegere eigenaren/luchtvaartmaatschappijen wat betreft het al dan niet opvolgen van *Service Bulletin 72-462* (omdat vervanging van de dog bone-afdichting onderdeel is van dit *service bulletin*).



Bezoekadres
Lange Voorhout 9
2514 EA Den Haag
T 070 333 70 00

Postadres
Postbus 95404
2509 CK Den Haag

www.onderzoeksraad.nl