



## Summarischer Bericht

Bezüglich des vorliegenden schweren Vorfalles wurde eine summarische Untersuchung gemäss Artikel 45 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014 (VSZV), Stand am 1. Februar 2015 (SR 742.161) durchgeführt. Dieser Bericht wurde mit dem Ziel erstellt, dass aus dem vorliegenden Zwischenfall etwas gelernt werden kann.

<b>Luftfahrzeug</b>	Airbus A330-343	HB-JHC
<b>Halter</b>	Swiss International Air Lines Ltd., 4002 Basel	
<b>Eigentümer</b>	Swiss International Air Lines Ltd., 4002 Basel	
<b>Kommandant</b>	Schweizer Staatsangehöriger, Jahrgang 1964	
<b>Ausweis</b>	Verkehrspilotenlizenz für Flugzeuge ( <i>Airline Transport Pilot Licence Aeroplane</i> – ATPL(A)) nach der Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit ( <i>European Union Aviation Safety Agency</i> – EASA), ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)	
<b>Flugstunden</b>	<b>insgesamt</b> 14 931:22 h	<b>während der letzten 90 Tage</b> 140:03 h
	<b>auf dem Vorfalldatum</b> 3933:21 h	<b>während der letzten 90 Tage</b> 133:34 h
<b>Erster Offizier</b>	Deutscher Staatsangehöriger, Jahrgang 1988	
<b>Ausweis</b>	ATPL(A) nach EASA, ausgestellt durch das BAZL	
<b>Flugstunden</b>	<b>insgesamt</b> 3889:48 h	<b>während der letzten 90 Tage</b> 97:48 h
	<b>auf dem Vorfalldatum</b> 429:16 h	<b>während der letzten 90 Tage</b> 97:48 h
<b>Ort</b>	Piste 32 des Flughafens Zürich (LSZH)	
<b>Koordinaten</b>	---	<b>Höhe</b> ---
<b>Datum und Zeit</b>	26. Februar 2020, 10:38 UTC (LT <sup>1</sup> = UTC <sup>2</sup> + 1 h)	
<b>Betriebsart</b>	Verkehrsfliegerei	
<b>Flugregeln</b>	Instrumentenflugregeln ( <i>Instrument Flight Rules</i> – IFR)	
<b>Startort</b>	Flughafen Zürich (LSZH)	
<b>Zielort</b>	Flughafen Nairobi (HKJK), Kenia	
<b>Flugphase</b>	Start und Steigflug	
<b>Art des schweren Vorfalles</b>	Heckberührung der Piste	
<b>Personenschaden</b>	<b>Besatzungsmitglieder</b>	<b>Passagiere</b>
Leicht verletzt	0	0
Nicht verletzt	2/10	221
		0
		nicht betroffen
<b>Schaden am Luftfahrzeug</b>	Leicht beschädigt	Kratz- und Schleifspuren am unteren Teil des Flugzeughecks
<b>Drittschaden</b>	Keiner	

<sup>1</sup> LT: *Local Time*, Normalzeit

<sup>2</sup> UTC: *Universal Time Coordinated*, koordinierte Weltzeit

## Sachverhalt

### Vorgeschichte

Am 26. Februar 2020 führte die Flugbesatzung einen Linienflug mit dem Verkehrsflugzeug Airbus A330-343, eingetragen als HB-JHC und mit der Flugnummer LX294, von Zürich (LSZH) nach Nairobi (HKJK) aus. Geplant war von dort ein Weiterflug nach Dar es Salaam (HTDA). An Bord befanden sich 2 Piloten, 10 Kabinenbesatzungsmitglieder und 221 Passagiere. Für diesen Flug war der Kommandant als überwachender Pilot (*Pilot Monitoring* – PM) und der Copilot als fliegender Pilot (*Pilot Flying* – PF) eingesetzt.

Der flugplanmässige Beginn des Fluges in Zürich war um 08:55 UTC vorgesehen. Um 08:56:58 UTC meldete sich die Flugbesatzung beim Flugverkehrsleiter (FVL) auf der Freigabe-Frequenz (*Clearance Delivery* – CLD) für das Erhalten einer Standardinstrumentenabflugroute (*Standard Instrument Departure* – SID). Nachdem sie einen möglichen Start auf der Piste 28 abgelehnt hatte, erhielt sie die Freigabe für ein Abflugverfahren auf der Piste 16.

Am Flughafen herrschten Schneeschauer und die Pistenzustände für Piste 28 und 16 wurden als auf der gesamten Pistenfläche mit nassem Schnee (*full length 100 % wet snow*) von 3 mm Dicke bedeckt gemeldet. In der Flughafen- und Wetterinformation (*Automatic Terminal Information System* – ATIS), die für den um 09:13 UTC erwarteten Abflug gültig war, wurde als Startpiste die Piste 28 bekannt gegeben und unter anderem mitgeteilt, dass die Piste 16 ab 09:30 UTC bis 10:10 UTC wegen Schneeräumungsarbeiten geschlossen werde. Auf Grund der geplanten Flugzeugenteisung und der Bekanntgabe der Flugsicherung um 09:35 UTC, dass für Starts nun die Piste 32 in Betrieb sei, verlangte die Flugbesatzung um 09:41:22 UTC bei CLD eine neue Abflugverfahrensfreigabe. Diese wurde ihr für die Piste 32 über die SID «DEGES 4L» erteilt. Zu diesem Zeitpunkt war die ATIS von 09:38 UTC aktiv, als Startpiste wurde Piste 32 bekannt gegeben und der Pistenzustand mit 10 % der Pistenfläche mit Schneematsch (*slush*) von 3 mm Dicke bedeckt angegeben. Die Flugbesatzung führte nun auf ihrem *electronic flight bag* (EFB)<sup>3</sup> eine Berechnung der Startleistung durch, um die optimalen Parameter für den Start zu ermitteln. Die Berechnung ergab unter anderem eine Klappenstellung (*configuration* – CONF) von CONF 2 mit einer Flex-Temperatur<sup>4</sup> von 35 °C.

Um 10:07 UTC führte die Flugbesatzung auf dem EFB erneut eine Startleistungsberechnung durch. Zu diesem Zeitpunkt war die ATIS von 09:50 UTC aktiv. Der Pistenzustand wurde unverändert mit 10 % der Pistenfläche mit Schneematsch (*slush*) von 3 mm Dicke bedeckt angegeben, der Wind aus 280 Grad mit 19 kt und Windböen (*gust*) bis zu 32 kt, die Temperatur mit 1 °C und der mit den Werten der ICAO<sup>5</sup>-Standardatmosphäre auf Meereshöhe reduzierte Luftdruck (QNH) mit 1003 hPa. Zudem wurden auf einer Flughöhe von rund 3000 ft AMSL<sup>6</sup> Windscherungen (*windshear*) gemeldet. Auf Grund dieser Windscherungen entschied sich die Flugbesatzung für einen Start mit CONF 1+F. Zudem wählte sie auf Grund des variablen Windes und des Pistenzustandes eine Windeingabe mit Rückenwind. Aus dem gleichen Grund wählte sie auch eine um 1 °C gegenüber der maximal möglichen Flex-Temperatur reduzierte Temperatur von 34 °C. Dabei plante sie, für den Start die Triebwerk- und Flügelenteisung ein- und die Klimaaggregate (*airconditioning pack*) auszuschalten.

---

<sup>3</sup> Das EFB, der sogenannte «elektronische Pilotenkoffer», ist der Ersatz der Dokumente in einem Digitalformat, die früher üblicherweise in einer schweren Dokumententasche im Cockpit mitgeführt wurde.

<sup>4</sup> Die Flex-Temperatur (*flex temperature*) ist gegenüber der aktuellen Aussentemperatur erhöht und wird zur Startleistungsberechnung verwendet. Daraus resultiert eine reduzierte Startleistung der Triebwerke, so dass diese einem geringeren Verschleiss unterliegen.

<sup>5</sup> ICAO: *International Civil Aviation Organization*, internationale Zivilluftfahrtorganisation

<sup>6</sup> AMSL: *Above mean sea level*, Höhe über dem mittleren Meeresspiegel

Die Startleistungsberechnung wurde entsprechend durchgeführt, wobei eine Rückenwindkomponente von 6 kt, eine Temperatur von 1 °C und ein QNH von 1001 hPa als Umgebungsbedingungen festgelegt wurden. Daraus resultierten die vitalen Geschwindigkeiten (*V-speeds*)  $V1^7 = 136$  kt,  $VR^8 = 148$  kt und  $V2^9 = 153$  kt (vgl. Abbildung 1).

Um 10:34:02 UTC erhielt die Flugbesatzung die Freigabe für das Rollen in die Startposition und um 10:36:01 UTC die Freigabe für den Start auf der Piste 32. Der FVL gab zusätzlich einen Wind aus Richtung 260 Grad mit 19 kt und Windböen bis zu 28 kt bekannt.

### Flugverlauf

Um 10:36:11 UTC des 26. Februar 2020 schob die Besatzung die Schubhebel des zweistrahligen Linienflugzeuges Airbus A330 mit dem Eintragungszeichen HB-JHC in die Raste «FLX»<sup>10</sup> und begann mit dem Startlauf. Die Beschleunigung erfolgte normal. Um 10:36:53 UTC leitete der PF bei böigem Wind den Abhebevorgang (*rotation*) des Flugzeuges ein. Die angezeigte Geschwindigkeit (*knots indicated airspeed* – KIAS), die knapp 2 Sekunden vorher 148 kt, also VR angezeigt hatte, war in der Zwischenzeit wieder auf 142 kt abgefallen. Der PF zog den Steuerknüppel beim Rotieren auf rund  $\frac{3}{4}$  des vollen Ausschlags (*full deflection*) nach hinten und brachte ihn dann partiell wieder in eine Position zurück, die rund einem halben Steuerausschlag entsprach. Innerhalb von 4 Sekunden erreichte das Flugzeug einen Längsneigungswinkel (*pitch angle*) von 11.2°. Zwei Sekunden später, bei einem Längsneigungswinkel von 13.7° und einer Geschwindigkeit von 154 KIAS, hob das Flugzeug ab. Kurz vor dem Abheben des Hauptfahrwerkes von der Piste berührte das Flugzeugheck die Piste (*tailstrike*), was weder von der Flug- noch von der Kabinenbesatzung bemerkt wurde.

Der weitere Steigflug sowie der Reise- und Sinkflug waren ereignislos. Die HB-JHC landete um 18:06 UTC wie geplant in Nairobi.

### Befunde nach der Landung

Vor dem Weiterflug nach Dar es Salaam informierte der Stationsmechaniker die Flugbesatzung darüber, dass er am unteren Rumpfteile des Flugzeughecks, in der Nähe der Zugangstür für das Abwasser (*waste water door*), frische Kratz- und Schleifspuren festgestellt habe (vgl. Anlage 1). Nach Rücksprache mit dem Unterhaltsbetrieb in Zürich wurde der Weiterflug annulliert.

Nach einer detaillierten und aufwändigen Inspektion durch Spezialisten des Unterhaltsbetriebes der Fluggesellschaft, die nach Nairobi eingeflogen wurden, und in Absprache mit dem Flugzeughersteller wurde eine temporäre Reparatur durchgeführt (vgl. Anlage 1). Diese war am Abend des 9. März 2020 abgeschlossen und das Flugzeug wurde wieder für den Betrieb freigegeben.

---

<sup>7</sup> V1 steht für die Entscheidungsgeschwindigkeit (*takeoff decision speed*). Fällt ein Triebwerk bei dieser Geschwindigkeit aus, ist das Flugzeug fähig, entweder den Start mit einem sicheren Steigflug fortzusetzen oder den Start abzubrechen und auf der Piste zum Stillstand zu kommen.

<sup>8</sup> VR steht für die Rotationsgeschwindigkeit (*rotation speed*). Bei dieser Geschwindigkeit wird die Längsneigung des Flugzeuges erhöht, um abzuheben.

<sup>9</sup> V2 steht für die sichere Abhebegeschwindigkeit (*minimum takeoff safety speed*). Diese Geschwindigkeit gewährleistet einen sicheren Steigflug mit einem bei V1 ausgefallenen Triebwerk.

<sup>10</sup> Beim Airbus A330 kann der Schubhebel aus der Leerlaufstellung in die Rasten «CL» für den Steigflug, «FLX» für den Start mit reduzierter Triebwerkleistung und «TOGA» für die maximale Triebwerkleistung gebracht werden.

## Meteorologische Angaben

Zum Zeitpunkt des Starts der HB-JHC war die folgende Flugplatzwettermeldung (*Meteorological Aviation Routine Weather Report – METAR*) gültig:

«METAR LSZH 261020Z 26017KT 9999 VCSH FEW014 SCT029 BKN034 01/M03 Q1004 R88/6103// TEMPO 3000 SHSN=»

Aus dieser Meldung geht hervor, dass kurz vor deren Ausgabezeit von 10:20 UTC die folgenden Wetterbedingungen beobachtet worden waren:

Wetter	Schauer in einer Entfernung von 8 bis 16 km vom Flughafen.
Wolken unterhalb von 8000 ft AAE <sup>11</sup>	1/8 – 2/8 1400 ft AAE 3/8 – 4/8 2900 ft AAE 5/8 – 7/8 3400 ft AAE
Sicht	10 km oder mehr
Wind	260 Grad, 17 kt
Temperatur und Taupunkt	1 °C / -3 °C
Luftdruck (QNH)	1004 hPa
Pistenzustand	Alle Pisten: Pistenfläche mit 10% oder weniger mit Schneematsch von 3 mm Dicke bedeckt. Keine Angaben bezüglich Bremsverhältnisse.
Trend	Sichtweite 3000 m und Schneeschauer. Diese Angaben beschreiben eine erwartete Änderung der Wetterverhältnisse. Die Änderung dauert weniger als eine Stunde und gesamthaft weniger als die Hälfte der Vorhersageperiode von zwei Stunden nach dem Beobachtungstermin.

## Verfahrensvorgaben

Die Verfahrensvorgaben des Flugbetriebsunternehmens sind unter anderem in seinem Handbuch für die Flugbesatzungen (*Flight Crew Operation Manual – FCOM*) und in seinem Flugtechnik-Handbuch (*Flight Crew Techniques Manual – FCTM*) festgehalten.

Im Folgenden werden nur diejenigen Punkte aus FCOM und FCTM erwähnt, die für den schweren Vorfall von Bedeutung sind. Dies betrifft einerseits die Wahl der Klappenstellung, die Leistungssetzung für den Start und die Ermittlung der *V-speeds*, und andererseits das Verfahren zum Rotieren und Abheben des Flugzeuges nach dem Startlauf und Angaben betreffend die Vermeidung einer Heckberührung der Piste beim Start (*tailstrike avoidance*).

### Wahl der Klappenstellung und Triebwerksleistung für den Start

Gemäss FCOM sind für den Start drei Klappenstellungen (*configuration – CONF*) erlaubt, CONF 1+F, CONF 2 und CONF 3.

Um die Belastung der Triebwerke beim Start zu reduzieren, wird den Flugbesatzungen gemäss FCOM empfohlen, die Triebwerksleistung mittels einer Flex-Temperatur anzupassen und nicht die maximal erlaubte Triebwerksleistung (*take-off/go-around thrust – TOGA thrust*) zu verwenden. Damit lassen sich die Lebensdauer der Triebwerke verlängern und die Unterhaltskosten reduzieren. Gleichzeitig wird festgehalten, dass für eine Verbesserung der Startleistung die Flex-Temperatur abweichend von der optimalen Flex-Temperatur, die aus der Startleistungsberechnung resultiert, reduziert werden kann, um eine höhere Triebwerksleistung beim Start zu erzielen.

<sup>11</sup> AAE: *Above Aerodrome Elevation*, über Flugplatzbezugshöhe

Das Verfahren mittels einer Flex-Temperatur ist gemäss FCOM nur bei einem Start auf einer trockenen oder nassen Piste mit guter Oberfläche (*dry or wet, well paved runway*) zulässig. Bei einer kontaminierten Piste (*contaminated runway*) ist dies verboten und der Start muss mit der maximal erlaubten Triebwerksleistung TOGA erfolgen. Eine Piste gilt nur dann als kontaminiert, wenn mehr als 25 % ihrer Oberfläche mit Niederschlagsresten (Schneematsch, Schnee, Eis, o.a.) bedeckt ist.

Bei zu erwartenden Windscherungen (*windshear*) während des Abfluges wird gemäss FCTM des Flugbetriebsunternehmens empfohlen, die maximal erlaubte Triebwerksleistung TOGA zu setzen. Bei einem Start mit reduzierter Triebwerksleistung ist ein Nachschieben der Schubhebel auf TOGA jederzeit möglich.

### Rotationstechnik und Abheben des Flugzeuges

Gemäss FCOM und FCTM soll beim Startlauf bei Erreichen von VR die Rotation mit einem positiven Ausschlag des Steuerknüppels nach hinten eingeleitet werden. Dabei soll eine kontinuierliche Rotationsrate von 3 °/s (Grad pro Sekunde) bis auf einen Längsneigungswinkel (*pitch attitude*) von 15° erzielt werden. Das Flugzeug hebt etwa 4 bis 5 Sekunden nach Einleiten der Rotation bei einem Längsneigungswinkel von rund 10° von der Piste ab.

### Berühren des Flugzeughecks mit der Piste beim Start

Im FCTM wird auf das Thema «*tailstrike avoidance*» vertieft eingegangen. Zusammengefasst werden nachfolgend die relevanten Faktoren aufgelistet:

- *Tailstrikes* können schwere strukturelle Schäden hervorrufen;
- Wetterbedingungen mit Seitenwind, Turbulenz und Windscherungen begünstigen das Auftreten eines *tailstrike*;
- Die minimale Bodenfreiheit des Flugzeughecks zur Piste tritt bereits vor dem Abheben auf, bevor die Drehgestelle der Hauptfahrwerke (*rotating bogies*) vollständig ausgefedert sind;
- Ein zu frühes Rotieren (*early rotation*) des Flugzeuges vor Erreichen von VR resultiert in einer erhöhten *pitch attitude* beim Abheben und begünstigt deshalb das Auftreten eines *tailstrike*;
- Eine abrupte Erhöhung der Rotationsrate kurz vor dem Abheben erhöht das Risiko eines *tailstrike*;
- Zur Verminderung des Risikos eines *tailstrike* empfiehlt das Flugbetriebsunternehmen im FCTM explizit einen Start mit der Klappenstellung CONF 2.

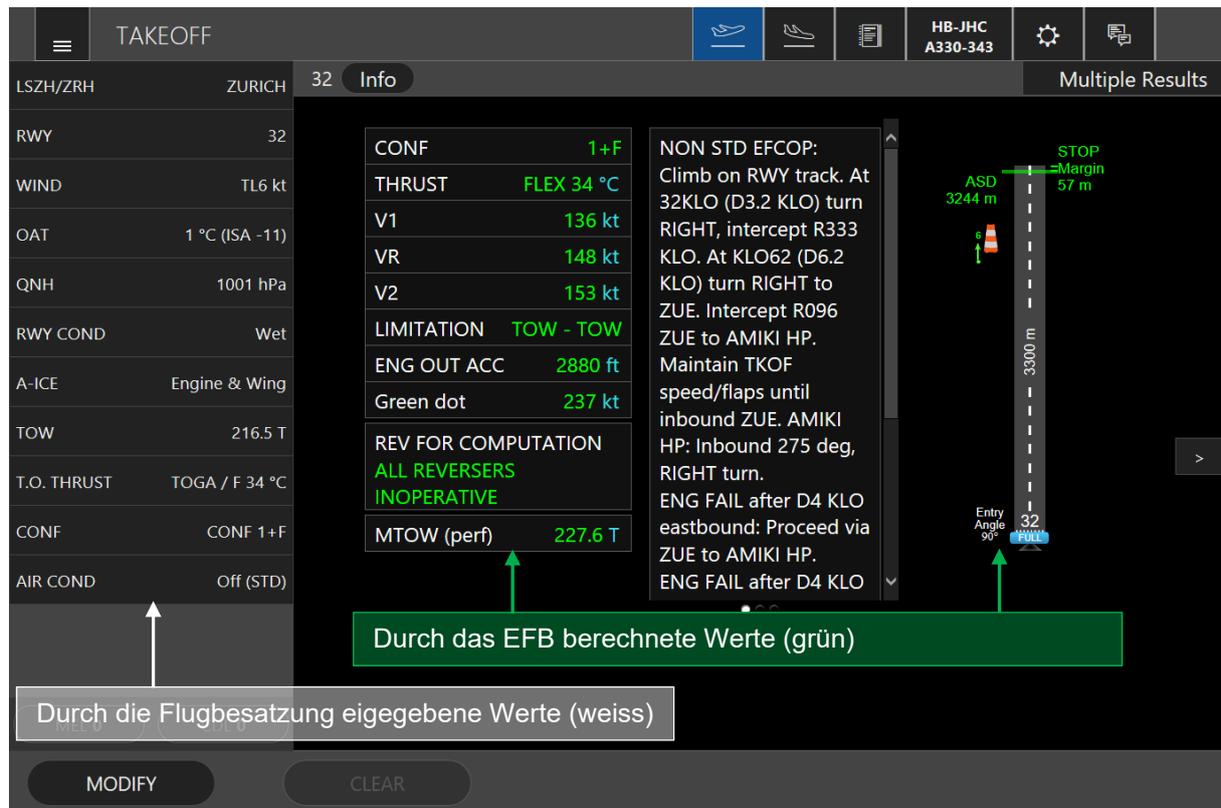
### Berechnung der Startleistungswerte

Für die Berechnung der Startleistung steht den Flugbesatzungen eine Anwendung im *electronic flight bag* (EFB) zur Verfügung. Die Flugbesatzung kann die optimale Klappenstellung und die maximale Flex-Temperatur unter den gegebenen Startbedingungen errechnen lassen oder diese Parameter selbst bestimmen und mit diesen die entsprechenden Berechnungen durchführen.

Es ist in der Praxis üblich, betreffend die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftdruck, und Wind) Werte einzugeben, die mit einer gewissen Sicherheitsmarge versehen sind (im Fliegerjargon als «konservative Werte» bezeichnet), dies auch um nicht unmittelbar vor dem Start bei kurzfristigen Änderungen dieser Umgebungsbedingungen noch einmal eine neue Berechnung durchführen zu müssen.

Bezüglich des Windes hält das Flugbetriebshandbuch fest, dass für den Start der aktuelle mittlere Wind berücksichtigt werden soll und Windböen lediglich für Seitenwind-Grenzwerte zur Anwendung kommen.

Die Berechnung der Startleistungswerte, welche die Besatzung der HB-JHC kurz vor dem Start auf der Piste 32 vornahm, präsentierte sich auf dem EFB wie folgt (vgl. Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Darstellung der Berechnung der Startleistungswerte auf dem EFB, wie sie kurz vor dem Start der HB-JHC auf der Piste 32 in Zürich von der Besatzung vorgenommen wurde. Über den Pfeil auf der rechten Bildschirmseite können zwei weitere Seiten mit zusätzlichen Informationen zum Start abgerufen werden.

### Einfluss der Windeingaben und Klappenstellung auf die Startleistungswerte

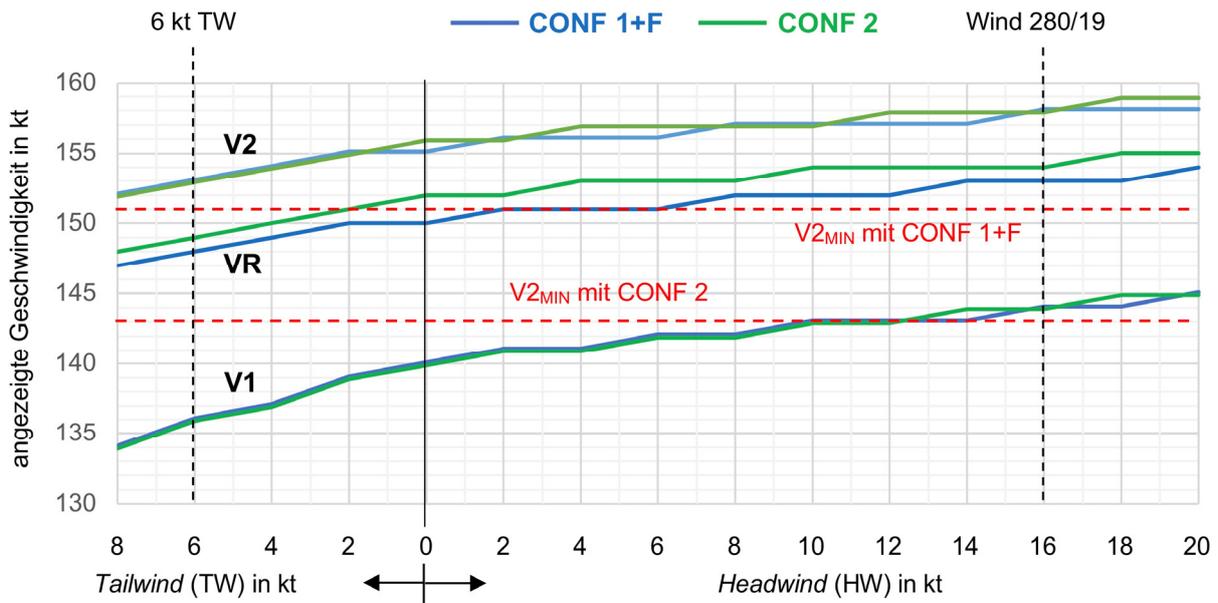
Die Windeingaben beeinflussen einerseits die *V-speeds* und damit die minimal benötigte Pistenlänge (*accelerate stop distance – ASD*)<sup>12</sup> und wirken sich andererseits auch auf das Verhältnis der Geschwindigkeit *V2* gegenüber der Abrissgeschwindigkeit *V<sub>S1g</sub>*<sup>13</sup> aus. Dieses Verhältnis, das mindestens 1.13 betragen muss, wird den Piloten auf Seite 3 im EFB als «*V2VSRatio*» angezeigt.

In den nachfolgenden Abbildungen wird der Einfluss der Windeingabe auf die resultierenden *V-Speeds*, auf das Verhältnis «*V2VSRatio*» und auf die ASD grafisch dargestellt. Der für den Start der HB-JHC von der Besatzung gewählte Wind, ein Rückenwind (*tailwind – TW*) von 6 kt, wie auch der mittlere Wind, der aktuell beim Startlauf der HB-JHC vorlag und einem Gegenwind (*headwind – HW*) von 16 kt entsprach, sind in den Darstellungen hervorgehoben.

Die *V-Speeds* ändern sich mit unterschiedlichen Windeingaben und nehmen bei einer ansteigenden Gegenwindkomponente zu. Die Klappenstellung (CONF) hat dabei fast keinen Einfluss auf die resultierenden *V-speeds* (vgl. Abbildung 2).

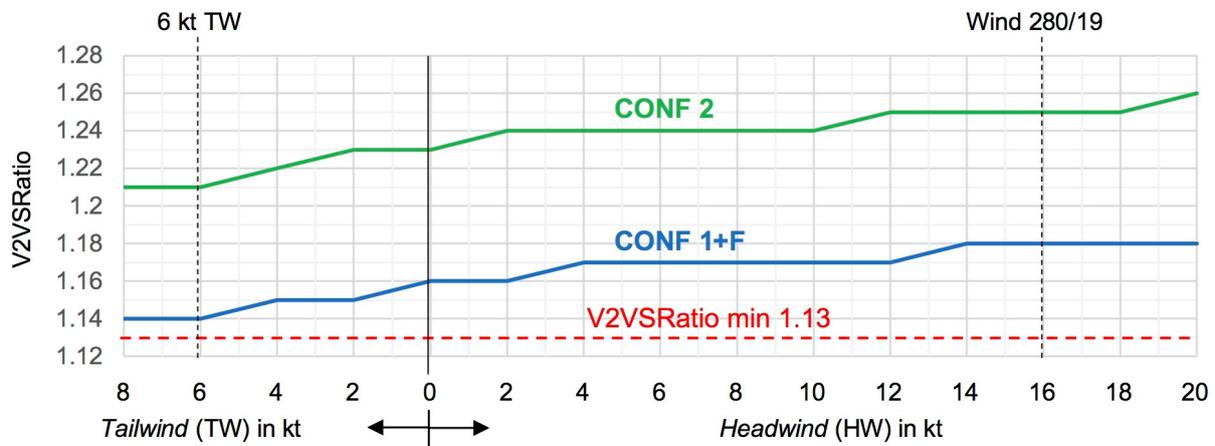
<sup>12</sup> Die ASD wird benötigt, um das Flugzeug auf die Geschwindigkeit *V1* zu beschleunigen und nach einem Startabbruch bei *V1* mit den Radbremsen wieder zum Stillstand zu bringen.

<sup>13</sup> *V<sub>S1g</sub>*: *stall speed at 1g load factor*; Geschwindigkeit, bei der ein Auftrieb (senkrecht zum Bewegungsvektor) erzeugt werden kann, der gleich der Gewichtskraft des Flugzeuges ist. Im Gegensatz dazu bezeichnet *V<sub>s</sub>* (*stall speed*) die Geschwindigkeit, bei der das Flugzeug gerade noch kontrollierbar, aber die Auftriebskraft kleiner als die Gewichtskraft des Flugzeuges ist. *V<sub>s</sub>* ist deshalb kleiner als *V<sub>S1g</sub>*.



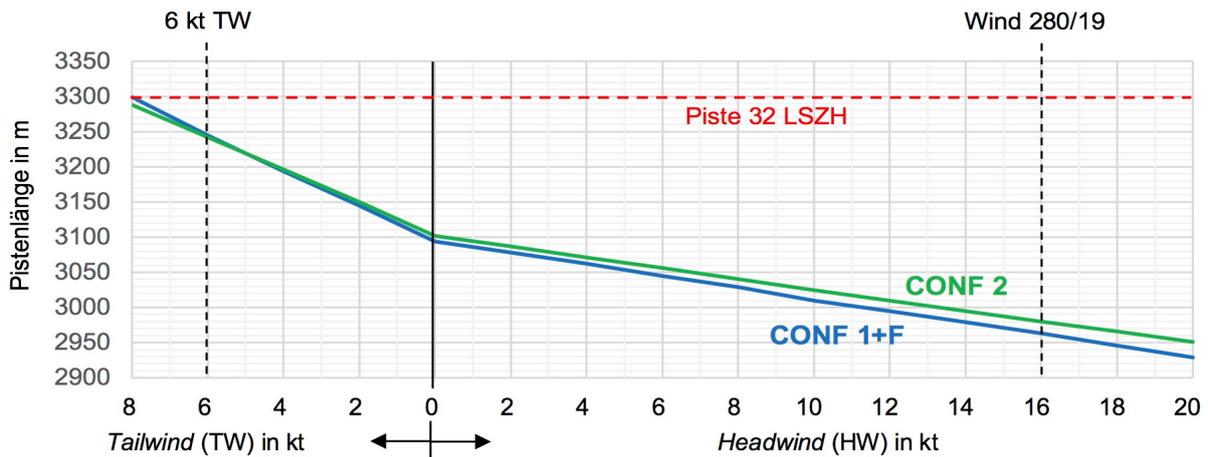
**Abbildung 2:** Einfluss der Windeingabe im EFB auf die V-Speeds bei CONF 1+F und CONF 2. Die übrigen Eingabeparameter im EFB entsprechen den von der Besatzung gewählten Werten gemäss Abbildung 1.  $V2_{MIN}$  bezeichnet die minimal vorgeschriebene V2, die dem 1.13-fachen von  $V_{S1g}$  entspricht.

Da mit einer geringeren Klappenstellung die Abrissgeschwindigkeit  $V_{S1g}$  ansteigt, ergibt sich daraus ein deutlich kleineres Verhältnis « $V2VSRatio$ » und damit eine geringere Sicherheitsmarge zu einem Strömungsabriss (vgl. Abbildung 3). Das Flugzeug wird zudem bei einer Geschwindigkeit rotiert, die deutlich näher der Abrissgeschwindigkeit liegt.



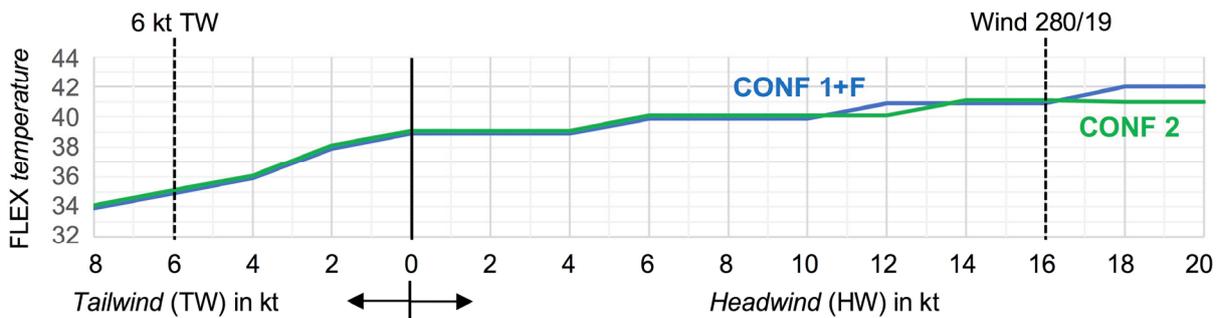
**Abbildung 3:** Einfluss der Windeingabe im EFB bei unterschiedlichen Konfigurationen auf das Verhältnis zwischen V2 und  $V_{S1g}$ . Die übrigen Eingabeparameter im EFB entsprechen den von der Besatzung gewählten Werten gemäss Abbildung 1.

Die ASD wird wesentlich von der Windeingabe beeinflusst und verringert sich mit zunehmendem Gegenwind. Die Klappenstellung (CONF) hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf die ASD (vgl. Abbildung 4).



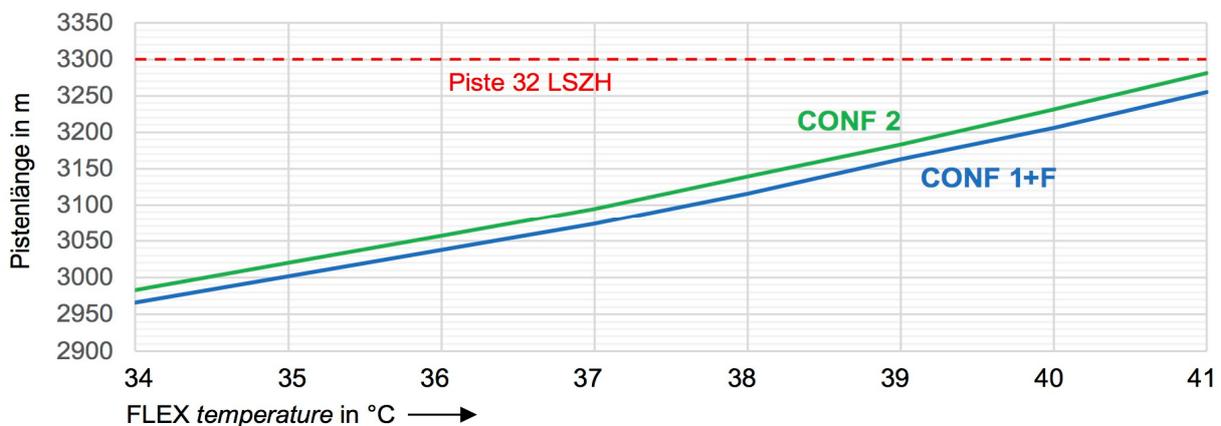
**Abbildung 4:** Einfluss der Windeingabe im EFB bei unterschiedlichen Klappenstellungen (CONF) auf die ASD (Pistenlänge in m). Die übrigen Eingabeparameter im EFB entsprechen den von der Besatzung gewählten Werten gemäss Abbildung 1.

Die Abhängigkeit der maximal möglichen Flex-Temperatur von der Windeingabe ist in Abbildung 5 ersichtlich: Bei einer grösserer Gegenwindkomponente steigt die optimale Flex-Temperatur an.



**Abbildung 5:** Einfluss der Windeingabe im EFB auf die optimale Flex-Temperatur. Die übrigen Eingabeparameter im EFB entsprechen den von der Besatzung gewählten Werten gemäss Abbildung 1.

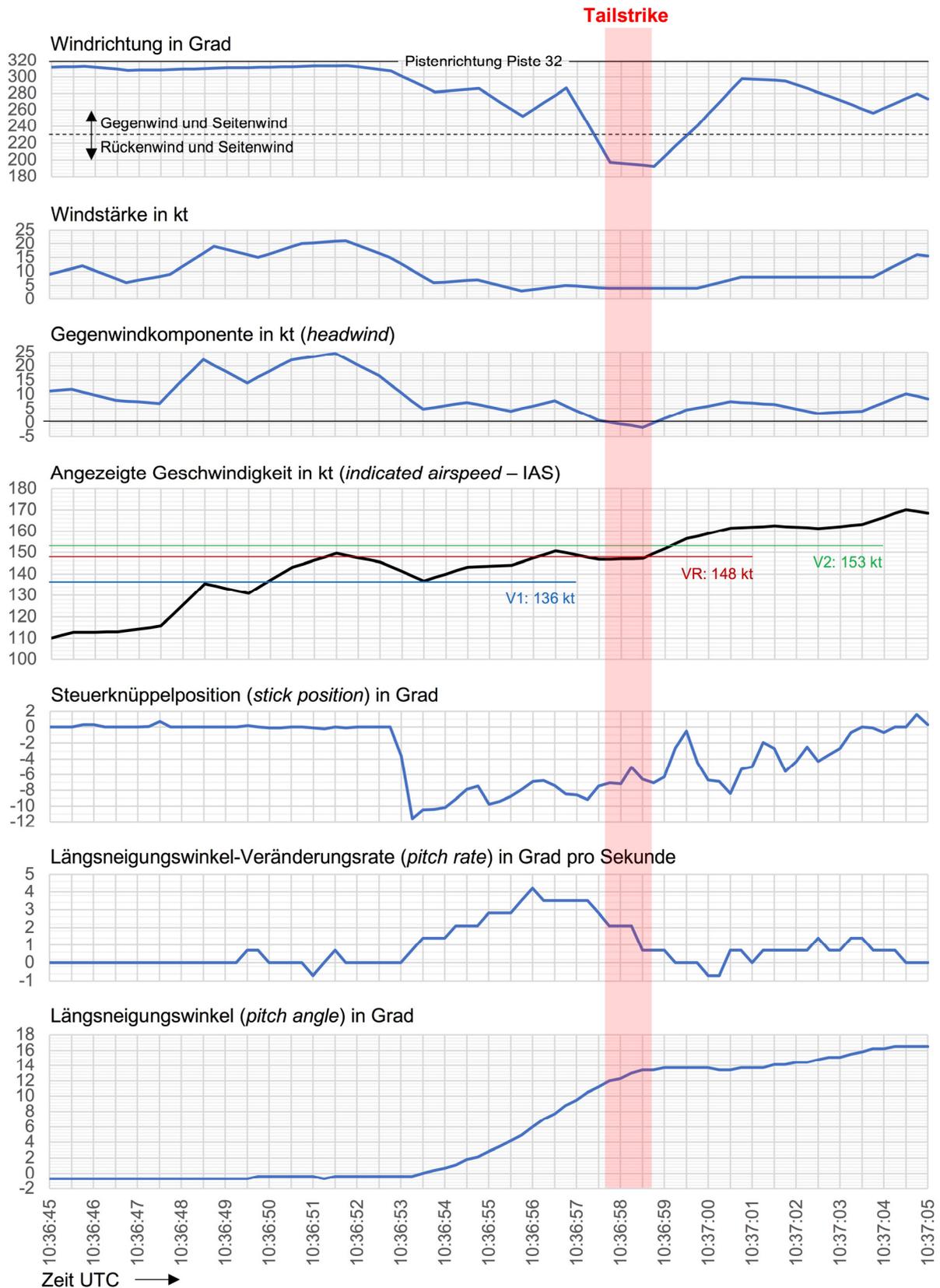
Bei einer durch die Flugbesatzung vorgenommenen Reduktion der Flex-Temperatur bei sonst gleichbleibenden Eingaben nimmt die ASD ab (vgl. Abbildung 6). Die V-Speeds werden dabei fast nicht beeinflusst.



**Abbildung 6:** Einfluss der Flex-Temperatur, resp. der dadurch reduzierten Startleistung, auf die ASD (Pistenlänge in m) bei Berücksichtigung eines Windes aus 280° mit 19 kt (HW 16 kt). Die übrigen Eingabeparameter im EFB entsprechen den von der Besatzung gewählten Werten gemäss Abbildung 1.

### Auswertung des Flugdatenschreibers

Der Flugdatenschreiber (*Digital Flight Data Recorder – DFDR*) der HB-JHC konnte ausgelesen und dessen Daten ausgewertet werden (vgl. **Abbildung 7**).



**Abbildung 7:** Aufzeichnung der DFDR Daten in der Phase des Rotierens und Abhebens der HB-JHC. Die Gegenwind- und *pitch rate*-Daten wurden berechnet.

Die Aufzeichnungen zeigen beim Einleiten und anfänglichen Beschleunigen des Startlaufs bis zum Erreichen der Entscheidungsgeschwindigkeit V1 keine Anomalitäten. In der Folge wird ersichtlich, dass die vorhandenen und aufgezeichneten Windböen den weiteren Verlauf wesentlich beeinflussten. In Bezug auf den *tailstrike* ist vor allem die Rotationsphase von Interesse. Der Zusammenhang von Wind, angezeigter Geschwindigkeit, Längsneigungswinkel (*pitch angle*) und dessen Veränderungsrate (*pitch rate*) sind in obiger Abbildung 7 ersichtlich.

Bemerkenswert dabei sind die von den Windböen bedingten Fluktuationen der angezeigten Geschwindigkeit kurz vor und während des Einleitens der Rotation: Um 10:36:47 UTC nahm die IAS innerhalb von 1.5 Sekunden von 115 kt auf 135 kt zu. Anschliessend reduzierte sich die IAS innert 3 Sekunden wieder auf 131 kt und stieg erneut auf 150 kt an. Nur 1.5 Sekunden später verringerte sich die IAS wieder auf 139 kt und erhöhte sich innerhalb der nachfolgenden 3 Sekunden auf 150 kt.

Um 10:36:53 UTC leitete der PF die Rotation ein. Die angezeigte Geschwindigkeit betrug zu diesem Zeitpunkt 142 kt. Der Steuerknüppel (*stick*) wurde dabei bis auf rund  $\frac{3}{4}$  des Vollausschlages zurückgezogen und sofort wieder auf rund den halben Vollausschlag nachgelassen. Um 10:36:54 UTC betrug die angezeigte Geschwindigkeit 140 kt, erhöhte sich auf 151 kt und ging wieder zurück auf 147 kt (10:36:58 UTC). In der Folge erhöhte sich die angezeigte Geschwindigkeit kontinuierlich und betrug beim Abheben des Flugzeuges 154 kt (10:36:59 UTC).

Die Bewegungen am Steuerknüppel des PF führten innerhalb von 4 Sekunden zu einer Änderung des Längsneigungswinkels (*pitch angle*) des Flugzeuges von 0° auf 11.2° und in den folgenden 1.5 Sekunden auf 13.7° (10:36:59 UTC). Die maximale *pitch rate* betrug 4.2 Grad pro Sekunde (10:36:56 UTC).

### Vergleichbarer Zwischenfall

Ein vergleichbarer Zwischenfall wie der vorliegende, bei dem eine A330-300 der Lufthansa beim Start aufgrund eines *tailstrike* schwer beschädigt wurde, trat am Abend des 5. März 2013 in Chicago (KORD) auf, von wo aus das Flugzeug nach vorgängiger Enteisung zu einem Flug nach München (EDDM) startete. Gemäss Aussage der Flugbesatzung war die Piste bis auf geringe Reste von Schnee und Eis geräumt, nachdem im Tagesverlauf ein Wintereinbruch mit Schneefällen stattgefunden hatte.

Die Flugbesatzung hatte für den Start die Klappenstellung CONF 1+F gewählt und die Triebwerksleistung mittels einer Flex-Temperatur von 40 °C reduziert.

Der Untersuchungsbericht «BFU 2X001-13» der Deutschen Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) hält fest, dass der *tailstrike* unter anderem eine Folge der gewählten Klappenstellung und der Dynamik der Rotationsrate (*rotation rate*) war.

Als Folge davon sprach die BFU zwei Sicherheitsempfehlungen aus:

«Empfehlung 04/2016

*Der Hersteller sollte in seinen Unterlagen die Hinweise auf mögliche Risiken für einen Tailstrike gerade im Zusammenhang mit den Konfigurationen der Auftriebshilfen beim Start deutlicher herausarbeiten. Die Anzeige des Flugleistungsprogramms sollte so ausgelegt werden, dass die Cockpitcrew einen Hinweis erhält, wenn es sich bei der vorgegebenen Klappenkonfiguration nicht um die mit der größtmöglichen Tailstrike-Toleranz handelt.»*

Airbus gab damals auf diese Sicherheitsempfehlung der BFU folgende Antwort, die auch heute noch Gültigkeit hat:

*«Das Flight Crew Techniques Manual (FCTM), Kapitel PR-NP-SOP-120: PROCEDURES / NORMAL PROCEDURES / SOP / TAKEOFF / TAIL STRIKE AVOIDANCE / CONFIGURATION enthält detaillierte Informationen in Bezug auf die Bodenfreiheit des Flugzeughecks (tail clearance) in Korrelation mit der Wahl der Klappenstellung für den Start, wie in der Sicherheitsempfehlung gefordert.»*

«Empfehlung 05/2016

*Der Hersteller sollte eine Strategie entwickeln, die es ermöglicht einen Tailstrike, wenn er denn erfolgte, für die Besatzung während des Fluges eindeutig detektierbar zu machen.»*

Airbus gab damals auf diese Sicherheitsempfehlung der BFU folgende Antwort, die auch heute noch Gültigkeit hat:

*«Betreffend das Erkennen einer Berührung des Flugzeughecks mit der Piste (tailstrike) beim A330 wurde folgendes berücksichtigt und mit der Zertifizierungsbehörde vereinbart:*

- *Ein tailstrike kann aufgrund struktureller Flexibilität und Verformungen unerkannt bleiben;*
- *Ein schwerer tailstrike, bei dem eine Oberfläche von mehr als 80 cm<sup>2</sup> perforiert wird, wird der Besatzung spätestens durch Anzeigen und Warnungen des Kabinendrucksystems angezeigt;*
- *Bei einem leichten tailstrike mit einer perforierten Oberfläche von weniger als 80 cm<sup>2</sup> gewährleisten die Strukturprofile die strukturelle Festigkeit nach einem unerkannten tailstrike.»*

Zusätzlich hält die BFU im Untersuchungsbericht folgendes fest:

*«Von einer Sicherheitsempfehlung gegenüber dem Luftfahrtunternehmen wurde abgesehen, da bereits während der laufenden Sicherheitsuntersuchung entsprechende Maßnahmen eingeführt wurden. Die Besatzungen wurden darüber informiert, dass bei der Klappenkonfiguration 1+F ein erhöhtes Tailstrike Risiko gegenüber Konfiguration 2 besteht.*

*Das Thema "Avoidance of Tailstrike" wurde mit allen Besatzungsmitgliedern der A330/340 Flotte im Rahmen der jährlichen Linechecks besprochen.»*

### **Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen**

Das Flugbetriebsunternehmen hat die Flugbesatzungen am 2. April 2020 in einem sogenannten «OPS-Flash» unter anderem wie folgt orientiert:

«[...]

*Folgende Aussagen lassen sich zu diesem Vorfall machen und sind durch FDM-Auswertungen erhärtet:*

#### Wählen von Conf 1+F

- *Das Wählen von Conf 1+F für den TOF<sup>14</sup> reduziert die Tail Clearance um ca. 1 ft (ein höherer Pitch ist notwendig für den Lift-Off).*
- *Der A330 hat mit Conf 1+F das fünfmal höhere Risiko eines Tail Strikes als mit Conf 2.*
- *Innerhalb der letzten 12 Monate haben sich die TOF mit Conf 1+F auf dem A330 verdoppelt.*
- *Die Anzahl der «Risk of Tail Strike Events» korreliert mit der zunehmenden Anzahl Conf 1+F TOF.*

*Mit der Wahl von Conf 1+F wird ein signifikant höheres Tail Strike-Risiko angenommen. Nach wie vor fraglich ist, warum innerhalb der letzten zwölf Monate eine Verdoppelung der Conf 1+F TOFs stattgefunden hat. Auffällig ist jedoch, dass die Zunahme der Conf 1+F TOFs mit der Aufhebung der Conf 2-Recommendation auf dem A320 korreliert. Entsprechend weisen wir darauf hin, dass diese Recommendation für A330/340 immer noch ihre Gültigkeit hat und **Conf 2 die Standardkonfiguration** ist (FCTM Tail Strike Avoidance). Darunter verstehen wir, dass für die Wahl einer anderen Konfiguration ein nachvollziehbarer Grund (z.B. Performance) erforderlich ist. Zusätzlich müssen die wesentlich höheren Risiken bei der Wahl von Conf 1+F Teil des Briefings sein, um die SAW zu erhöhen.*

<sup>14</sup> Mit TOF ist der *Takeoff*, d.h. der Start und das Abheben des Flugzeuges gemeint.

[...]

### Learnings

- *Conf 2 ist die recommended TOF-Konfiguration.*
- *Bei der Wahl von Conf 1+F müssen die erhöhten Risiken und deren Mitigation im Briefing angesprochen werden.*
- *Eine bewusste Rotation nach FCTM und eine konsequente Überwachung ist besonders bei turbulenten Windverhältnissen wichtig.»*

## Analyse

### Allgemeines

In der folgenden Analyse geht es nicht nur um die Rotationstechnik beim Start, sondern auch um die Wahl der Flugzeugkonfiguration, respektive das Einbeziehen der Wetter-, Wind- und Pistenverhältnisse für einen optimalen Start.

### Berechnungen für den Start

Um den Einfluss der einzelnen Parameter wie Temperatur, Luftdruck, Wind, FLEX *temperature* und Klappenstellung auf die Startberechnung besser erfassen zu können, wurde deren Wirkung in den Abbildungen 2 bis 6 grafisch dargestellt.

Die EFB-Berechnungen zeigen, dass die Wahl der Klappenstellung (CONF 1+F oder CONF 2) im vorliegenden Fall zu praktisch identischen *V-speeds* V1, VR und V2 führt. Das ändert sich auch nicht, wenn die Aussentemperatur um 1 bis 2 °C höher oder der Luftdruck um 1 bis 2 hPa geringer, d.h. mit einer gewissen Sicherheitsmarge («konservativ») gewählt werden. Dieses Vorgehen ist verständlich, will man doch nicht das Risiko eingehen, bei einer kleinen Änderung eine erneute Startberechnung durchführen zu müssen. Es darf aber festgehalten werden, dass diese geringfügigen Eingaben nur wenig Einfluss auf die effektive Startberechnung haben.

Dagegen hat die Klappenstellung einen deutlichen Einfluss auf die Startleistungswerte (vgl. Abbildung 2):

- Bei der Wahl der Klappenstellung 2 (CONF 2) liegt die Rotationsgeschwindigkeit VR bei allen Gegen- oder Rückenwindkomponenten über  $V2_{MIN}$ , die dem 1.13-fachen der Abrissgeschwindigkeit entspricht.
- Mit der Klappenstellung 1+F (CONF 1+F) ist die Rotationsgeschwindigkeit VR erst ab einer Gegenwindkomponente von 6 kt grösser als  $V2_{MIN}$ .

Auch wenn die Klappenstellung auf die *V-speeds* (V1, VR und V2) keinen wesentlichen Einfluss hat, so führt sie bei CONF 1+F zu einer deutlich geringeren Sicherheitsmarge zur Abrissgeschwindigkeit (*stall margin*) als bei CONF2 und wirkt sich gleichermassen auf das Verhältnis « $V2VSRatio$ » aus (vgl. Abbildung 3). Dieses Verhältnis « $V2VSRatio$ » ist die einzige Information, die den Flugbesatzungen aus der Startberechnung betreffend die *stall margin* vorliegt. Sie wird im EFB allerdings nur auf einer Unterseite der Startberechnung angezeigt, die rein informativen Charakter hat und für die notwendigen Eingaben im Flugmanagementsystem nicht benötigt wird.

Die Berechnungen im EFB zeigen im vorliegenden Fall für den Start eine optimale Klappenstellung 2 (CONF 2), was auch vom Flugbetriebsunternehmen empfohlen und im EFB als Standard angegeben wird. Gegenüber der von der Flugbesatzung gewählten Stellung CONF 1+F zeigt die Berechnung mit CONF 2 ein Verhältnis « $V2VSRatio$ », das mit 1.21 deutlich über den 1.14 mit CONF 1+F liegt (vgl. Abbildung 2).

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass bei einer höheren Klappenstellung ein grösserer aerodynamischer Auftrieb zur Verfügung steht und somit für das Abheben ein kleinerer Längsneigungswinkel und eine geringere Geschwindigkeit benötigt wird. Damit lässt sich das Risiko eines *tailstrike* reduzieren. Da die Rotationsgeschwindigkeit VR bei CONF 2 bei einer Airbus

A330 aber annähernd identisch ist mit VR bei CONF 1+F (vgl. Abbildung 2), wird zum Abheben ein noch kleinerer Längsneigungswinkel benötigt. Dies reduziert das Risiko eines *tailstrike* zusätzlich.

Nebst der Wahl der Klappenstellung ist auch die Wahl der Windeingabe ein wichtiger Faktor. Mit der gewählten Rückenwindkomponente von 6 kt erschuf sich die Flugbesatzung einerseits eine Sicherheitsmarge für einen Startabbruch von 278 m ASD (vgl. Abbildung 4). Andererseits hatte die Rückenwindeingabe aber, wie der vorliegende Fall zeigt, einen wesentlichen Einfluss auf die Rotationsgeschwindigkeit VR. Diese reduzierte sich nämlich auf 148 kt. Unter Berücksichtigung des aktuellen Windes wäre VR 153 kt gewesen (vgl. Abbildung 2). Mit der tieferen Rotationsgeschwindigkeit erhöhte sich das Risiko eines *tailstrike*. Zudem verringerte sich dadurch die *stall margin* (vgl. Abbildung 3).

Sind unmittelbar nach dem Start, wie im vorliegenden Fall, *windshear* zu erwarten, ist die Wahl einer weniger Widerstand erzeugenden Klappenstellung (CONF 1+F gegenüber CONF 2) grundsätzlich von Vorteil und deshalb nachvollziehbar. Hingegen ist nicht nachvollziehbar, weshalb die Flugbesatzung bei diesen Bedingungen einen Start mit reduziertem Triebwerkschub vorsah, zumal sogar das Flugbetriebsunternehmen empfiehlt, bei erwarteten *windshear* den Start mit der maximal erlaubten Triebwerksleistung (TOGA) durchzuführen.

Die Flugbesatzung wollte mit der Eingabe der mit einer Sicherheitsmarge versehenen («konservativen») Werte im EFB die Sicherheitsreserven erhöhen; daraus resultierten aber letztendlich unerwünschte Effekte, nämlich die Erhöhung des Risikos eines *tailstrike* und die Reduktion der *stall margin*. Eine effektive Sicherheitsreserve lässt sich mit dem Setzen der maximal erlaubten Triebwerksleistung (TOGA) schaffen. Die Wahl, ob ein Start mit voller oder reduzierter Triebwerksleistung ausgeführt wird, ist letztendlich nichts anderes als ein Abwägen von Sicherheitsreserve gegenüber Ökonomie (*safety versus economy*).

### Rotationstechnik

Wie die Auswertungen des DFDR zeigen, haben die stark fluktuierenden Windböen während des Startlaufs, vor allem während der Rotationsphase, einen entscheidenden Einfluss ausgeübt. Um 10:36:51 UTC zeigte die IAS die für die Rotation gesetzte Geschwindigkeit von 148 kt an, worauf der PF die Rotation mit dem entsprechenden Steuerknüppelausschlag auf rund drei Viertel des Vollausschlages und sofortigem graduellem Nachlassen auf rund den halben Vollausschlag einleitete. In dieser Phase fiel die IAS aufgrund des fluktuierenden Windes wieder bis auf 137 kt zurück, bevor sie erneut anstieg. Die durchschnittliche Rotationsrate lag bei etwa 3 Grad pro Sekunde und nahm kurz vor dem *tailstrike* bereits wieder ab (vgl. Abbildung 7). Damit entsprach der Rotationsvorgang grundsätzlich den Verfahrensvorgaben des Flugbetriebsunternehmens.

### Schlussfolgerungen

Der schwere Vorfall, bei dem das Heck des Flugzeuges während des Abhebens den Boden berührte (*tailstrike*), ist auf eine Kombination der folgenden Faktoren zurückzuführen, die das Auftreten eines *tailstrike* begünstigten:

- Aufgrund von vorausgesagten *windshear* wählte die Flugbesatzung für den Start eine wenig Widerstand erzeugende Klappenstellung (CONF 1+F);
- Wegen des fluktuierenden Bodenwindes wählte die Flugbesatzung für die Startberechnung statt des aktuellen Gegenwindes eine mit Sicherheitsmarge versehene Rückenwindkomponente. Dies führte zu einer deutlich geringeren Rotationsgeschwindigkeit VR;
- Der Start erfolgte mit reduziertem Triebwerksschub, was die Geschwindigkeitszunahme während des Startlaufs und insbesondere in der Rotationsphase verlangsamte;
- Beim Rotieren des Flugzeuges führte ein *windshear* zu einer Abnahme der angezeigten Fluggeschwindigkeit bis unterhalb der Rotationsgeschwindigkeit VR.

Da nicht zu erwarten ist, dass weitere Untersuchungshandlungen zusätzliche zweckdienliche Erkenntnisse erbringen würden, schliesst die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle die Untersuchung des vorliegenden schweren Vorfalls nach Art. 45 Abs. 1 VSZV mit einem summarischen Bericht ab.

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

Bern, 18. Oktober 2021

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle

Anlage 1: Schaden am Luftfahrzeug HB-JHC

