Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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

Schlussbericht Nr. 2370 der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über den Unfall des Verkehrsflugzeuges Junkers Ju 52/3m g4e, HB-HOT,

betrieben durch Ju-Air,

vom 4. August 2018

1.2 km südwestlich des Piz Segnas, Flims (GR)

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
3003 Bern
Tel. +41 58 466 33 00, Fax +41 58 466 33 01
info@sust.admin.ch
www.sust.admin.ch

Dank

Beobachtungen, Fotos und Videos, die der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) während der Untersuchung durch Bürgerinnen und Bürger zur Verfügung gestellt wurden, trugen wesentlich zur Untersuchung und zum nun vorliegenden Schlussbericht bei. Die SUST dankt allen Personen, die ihr spontan und nach entsprechenden Aufrufen Hinweise und Bildmaterial für die Untersuchung überlassen haben.

Die folgenden Behörden, Organisationen und Firmen haben in dankenswerter Weise wesentlich zum Gelingen der Untersuchung beigetragen:

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile (BEA)
Forensisches Institut Zürich (FOR)
Kantonspolizei Graubünden
Gemeinde Flims
Flims Electric AG, in Flims (GR)
MatExpert GmbH, in Thun (BE)
Mountain Lodge, Segnespass
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Gemäss

Artikel 3.1 der 12. Ausgabe des Anhangs 13, gültig ab 5. November 2020, zum Übereinkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944, in Kraft getreten für die Schweiz am 4. April 1947, Stand am 18. Juni 2019 (SR *0.748.0*);

Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt vom 21. Dezember 1948, Stand am 1. Januar 2020 (LFG, SR *748.0*);

Artikel 1, Ziffer 1 der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Untersuchung und Verhütung von Unfällen und Störungen in der Zivilluftfahrt und zur Aufhebung der Richtlinie 94/56/EG, in Kraft getreten für die Schweiz am 1. Februar 2012 gemäss einem Beschluss des gemischten Ausschusses der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Union (EU) und gestützt auf das Abkommen vom 21. Juni 1999 zwischen der Schweiz und der EU über den Luftverkehr (Luftverkehrsabkommen);

sowie Artikel 2 Absatz 1 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchungen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Februar 2015 (VSZV, SR *742.161*);

ist der alleinige Zweck der Untersuchung eines Flugunfalls oder eines schweren Vorfalls die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen. Es ist ausdrücklich nicht Zweck der Sicherheitsuntersuchung und dieses Berichts, Schuld oder Haftung festzustellen.

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

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

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

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

Aufbau dieses Schlussberichts

Dieser Schlussbericht, erstellt nach den Vorgaben der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation, besteht aus einem Hauptteil und Anlagen. Der Bericht wurde nach den folgenden Grundsätzen gestaltet:

- Der Hauptteil stellt konzentriert die wesentlichen Elemente dar, die zur Erklärung des Unfalls notwendig sind. Er soll auf möglichst einfache Weise ein Verständnis des Gesamtzusammenhangs ermöglichen. Dabei wurden die umfangreich erhobenen Fakten sinngemäss zusammengefasst, analysiert und daraus Schlüsse gezogen.
- Die beiden Kapitel *2 Analyse* und *3 Schlussfolgerungen* des Hauptteils legen dabei alle Kernaussagen konzise dar und sollen das Verständnis des Unfalls, seiner Vorbedingungen und der ihn beeinflussenden systemischen Zusammenhänge ermöglichen.

- Zur Beseitigung der ermittelten Sicherheitsdefizite formulierte die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle entsprechende Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise, die in Kapitel *4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen* dargelegt sind.
- Die neun Anlagen sind den Unterkapiteln 1.1 bis 1.19 des Hauptteils zugeordnet und liefern die Einzelheiten des Sachverhalts und der verwendeten Untersuchungsmethoden. Weiter werden darin teilweise kurze Beurteilungen der dargelegten Fakten vorgenommen, die das Verständnis des Unfalls unterstützen und dazu beitragen sollen, dass aus diesem zur Verbesserung der Sicherheit noch mehr gelernt werden kann.
- Ermittelte Werte im Schlussbericht und in den Anlagen wie beispielsweise Flughöhen, Geschwindigkeiten, Lagewinkel, etc. wurden ungeachtet ihrer individuellen Genauigkeiten meist mit ungerundeten Werten wiedergegeben. Damit soll keine erhöhte Genauigkeit suggeriert werden. Vielmehr bleiben die errechneten Werte nachvollziehbar und diese können den entsprechenden Quellen zugeordnet werden. Für Detailbetrachtungen mit den zugehörigen Fehlerbandbreiten und Toleranzen vgl. Anlage A1.19, Kapitel A1.19.3, A1.19.4, A1.19.5.1 und Anlage A1.18, Kapitel A1.18.5.
- Alle in diesem Schlussbericht verwendeten Abkürzungen sowie wesentliche Fachbegriffe wurden in einem Glossar zusammengefasst.

Inhaltsverzeichnis

Überblick **8**
Untersuchung **8**
Kurzdarstellung **9**
Ursachen **9**
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise **10**
1 Sachverhalt **11**
1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf **11**
1.1.1 Vorgeschichte 11
1.1.2 Flugverlauf 13
1.1.3 Ort und Zeit des Unfalls 19
1.2 Personenschäden **19**
1.3 Schaden am Luftfahrzeug **19**
1.4 Drittschaden **19**
1.5 Angaben zu Personen **20**
1.5.1 Flugbesatzung 20
1.5.2 Kabinenbesatzung 22
1.5.3 Mitarbeitende des Flugbetriebsunternehmens 22
1.5.4 Mitarbeitende der Instandhaltungsbetriebe 23
1.5.5 Mitarbeitende des Bundesamtes für Zivilluftfahrt 23
1.6 Angaben zum Luftfahrzeug **23**
1.6.1 Geschichtlicher Hintergrund 23
1.6.2 Flugeigenschaften 24
1.6.3 Konstruktive Merkmale 25
1.6.4 Lufttüchtigkeitszeugnis und Luftfahrzeugkategorie 25
1.6.5 Instandhaltung 26
1.7 Meteorologische Angaben **28**
1.7.1 Allgemeine Wetterlage 28
1.7.2 Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des Unfalls 28
1.7.3 Astronomische Angaben 29
1.7.4 Wetterbeobachtungen durch andere Flugbesatzungen 29
1.7.5 Weitere Angaben und Abklärungen 30
1.8 Navigationshilfen **30**
1.9 Kommunikation **30**
1.10 Angaben zum Flugplatz **30**
1.11 Flugschreiber und Aufzeichnungsgeräte **30**
1.11.1 Rekonstruktion der Flugwege 30
1.11.2 Numerische Auswertungen 35
1.11.3 Fehlende Datenaufzeichnungsgeräte 39

1.11.4 Sicherheitsempfehlung 41
1.12 Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle 41
1.12.1 Unfallstelle 41
1.12.2 Aufprall 41
1.12.3 Wrack 41
1.13 Medizinische und pathologische Angaben 41
1.14 Feuer 42
1.15 Überlebensaspekte 42
1.15.1 Allgemeines 42
1.15.2 Suche und Rettung 42
1.16 Versuche und Forschungsergebnisse 42
1.17 Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung 43
1.17.1 Flugbetriebsunternehmen 43
1.17.2 Organisation zur Führung der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit 48
1.17.3 Instandhaltungsbetriebe 48
1.17.4 Aufsichtsbehörde 48
1.18 Zusätzliche Angaben 50
1.19 Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken 50
2 Analyse 52
2.1 Aufbau der Analyse 52
2.2 Rahmenbedingungen des Unfallfluges 52
2.2.1 Menschliche Voraussetzungen 52
2.2.2 Technische Voraussetzungen 52
2.2.3 Wetterverhältnisse 53
2.2.4 Betriebliche Voraussetzungen 53
2.3 Unfallflug 54
2.3.1 Betriebliche Aspekte 54
2.3.2 Menschliche Aspekte 59
2.4 Systemische Aspekte 62
2.4.1 Allgemeines 62
2.4.2 Organisation und Führung des Flugbetriebes 62
2.4.3 Organisation und Durchführung der Instandhaltung 65
2.4.4 Aufsichtstätigkeit 66
3 Schlussfolgerungen 70
3.1 Befunde 70
3.1.1 Technische Aspekte 70
3.1.2 Betriebliche Aspekte 71
3.1.3 Flugbesatzung 72
3.1.4 Unfallflug 72

3.1.5 Rahmenbedingungen 73
3.2 Ursachen 75
3.2.1 Direkte Ursache 75
3.2.2 Direkt beitragende Faktoren 75
3.2.3 Systemische Ursache 75
3.2.4 Systemisch beitragende Faktoren 75
3.2.5 Weitere Risiken 76
4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen 77
4.1 Sicherheitsempfehlungen 77
4.1.1 Überprüfung von Korrosionsschäden und Mängel an Systemkomponenten 77
4.1.2 Schaffung der Grundlagen einer risikobasierten und wirkungsvollen Aufsicht 77
4.1.3 Erteilung von Ausnahmebewilligungen 78
4.1.4 Überwachung des Flugbetriebs von historischen Luftfahrzeugen 78
4.1.5 Verbesserung der Organisation der Aufsichtstätigkeit 79
4.1.6 Verbesserung der Kompetenz der Aufsichtsbehörde 79
4.1.7 Ermittlung von Leistungsdaten der grundüberholten Flugzeuge 79
4.2 Sicherheitshinweise 80
4.2.1 Überprüfung und Verbesserung der Abläufe bei der Instandhaltung 80
4.2.2 Nachschulung der Flugbesatzungen 80
4.2.3 Verbesserung des Crew Ressource Managements 81
4.2.4 Verbesserung der Führungsmassnahmen im Flugbetrieb 81
4.2.5 Verbesserung des Sicherheitsmanagementssystems 81
4.2.6 Durchführung von Ereignis- und Risikoanalysen 82
4.2.7 Verbesserung des Trainings von kritischen Flugzuständen 82
4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen 82

Zusammenfassung

Überblick

Eigentümer	Schweizer Luftwaffe, Postfach 1072, 8600 Dübendorf
Halter	Verein der Freunde der Schweizerischen Luftwaffe (VFL), Überlandstrasse 271, 8600 Dübendorf. Dieser betrieb die Ju-52-Flugzeuge unter der Bezeichnung Ju-Air
Hersteller	Junkers Flugzeug- und Motorenwerke AG, Dessau, Deutschland
Luftfahrzeugmuster	Ju 52/3m g4e
Eintragungsstaat	Schweiz
Eintragungszeichen	HB-HOT
Ort	1.2 km südwestlich des Piz Segnas, auf 2475 m/M
Datum und Zeit	4. August 2018, 16:57 Uhr
Betriebsart	Gewerblich
Flugregeln	Sichtflugregeln (*Visual Flight Rules* – VFR)
Startort	Flugplatz Locarno (LSZL)
Zielort	Militärflugplatz Dübendorf (LSMD)
Flugphase	Reiseflug
Art des Unfalls	Kontrollverlust

Untersuchung

Der Unfall ereignete sich am 4. August 2018 um 16:57 Uhr. Die Meldung traf um 17:04 Uhr beim Pikettverantwortlichen der SUST ein. Die Untersuchung wurde am 4. August 2018 um 17:55 Uhr durch die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) in Zusammenarbeit mit der Kantonspolizei Graubünden eröffnet. Die SUST informierte folgende Staaten über den Unfall: Deutschland und Österreich. Beide Staaten ernannten bevollmächtigte Vertreter. Die französische Untersuchungsbehörde *Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile* (BEA) unterstützte die SUST mit grosser Hilfsbereitschaft bei der Aufbereitung und dem Auslesen der an der Unfallstelle sichergestellten Datenträger von Passagieren und Besatzungsmitgliedern.

Für die Untersuchung standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Beweissicherung vor Ort;
- Radaraufzeichnungen;
- GPS-Aufzeichnungen;
- Bild-, Video- und Tonaufnahmen;
- Befragungen;
- Dokumente der involvierten Unternehmen und Aufsichtsbehörden, Archivdokumente;
- technische Analyse des Flugzeugwracks;
- vertiefende Abklärungen und fachtechnische Gutachten.

Trotz fehlender aufschlagresistenter Aufzeichnungsgeräte im Flugzeug gelang es mithilfe der vorgenannten Daten, den Unfall zu rekonstruieren.

Da bei diesem Unfall die Rekonstruktion des eigentlichen Unfallfluges aufwändig war, konzentrierte sich die Untersuchungstätigkeit zunächst vor allem auf eine detaillierte Analyse des Wracks, um Aufschluss über technische Faktoren im Unfallgeschehen bzw. über systemische Risiken zu gewinnen, die im Zusammenhang mit dem Flugbetrieb und der Instandhaltung stehen. Diese Abklärungen zeigten gewisse systemische Sicherheitsdefizite auf. Deshalb veröffentlichte die SUST am 20. November 2018 einen Zwischenbericht mit einer Sicherheitsempfehlung und einem Sicherheitshinweis, damit die Flugsicherheit schon während der Untersuchung verbessert werden konnte.

Ebenso wurden im September 2019 die massgeblichen Verantwortlichen des Flugbetriebsunternehmens Ju-Air, der Instandhaltungsbetriebe und des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL) umfassend über die bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Untersuchungsergebnisse und die erkannten Sicherheitsdefizite orientiert, damit bis zur Publikation des Schlussberichts bereits wirksame Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit ergriffen werden konnten.

Der vorliegende Schlussbericht wird durch die SUST veröffentlicht.

Kurzdarstellung

Am 4. August 2018 um 16:14 Uhr startete das historische Verkehrsflugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT und betrieben durch die Ju-Air, vom Flugplatz Locarno zu einem Flug zum Militärflugplatz Dübendorf. Rund 40 Minuten später flog das Flugzeug auf einem nordnordöstlichen Kurs in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas ein. Gegen das nördliche Ende des Talkessels begann das Flugzeug eine Linkskurve, die sich zu einer spiralförmigen Flugbahn gegen unten entwickelte. Wenige Sekunden später kollidierte das Flugzeug annähernd senkrecht mit dem Gelände. Alle 20 Personen an Bord des Flugzeuges kamen dabei ums Leben. Das Flugzeug wurde zerstört.

Ursachen

Direkte Ursache

Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass nach einem Verlust der Kontrolle über das Flugzeug nicht genügend Raum vorhanden war, um dieses abzufangen, so dass es mit dem Gelände kollidierte.

Die Untersuchung hat folgende direkte kausale Faktoren für den Unfall ermittelt:

- Die Flugbesatzung führte das Flugzeug hochriskant[1], indem sie es in geringer Höhe und ohne Möglichkeit für einen alternativen Flugweg in ein enges Tal steuerte.
- Die Flugbesatzung wählte in Bezug auf den Flugweg eine gefährlich tiefe Fluggeschwindigkeit.

Beide Faktoren bewirkten, dass durch in solchen Situationen zu erwartende Turbulenz nicht nur ein kurzzeitiger Strömungsabriss (*stall*) mit einem Kontrollverlust, sondern auch eine ausweglose Situation entstehen konnte.

Direkt beitragende Faktoren

Die Untersuchung hat folgende Faktoren als direkt beitragend zum Unfall ermittelt:

- Die Flugbesatzung war sich gewohnt, anerkannte Regeln für einen sicheren Flugbetrieb nicht einzuhalten und hohe Risiken einzugehen.
- Das verunfallte Flugzeug wurde mit einer Schwerpunktlage betrieben, die ausserhalb der hinteren Begrenzung lag, was den Kontrollverlust begünstigte.

[1] Zur Bedeutung der Begriffe «gewagt», «riskant» und «hochriskant» bezüglich der Flugwegwahl vgl. Kapitel A1.18.5 und A1.18.4.

Systemische Ursache

Die Untersuchung hat folgende systemische Ursache für den Unfall ermittelt:

- Die Voraussetzungen für einen gewerblichen Luftverkehrsbetrieb des Flugzeuges waren vor dem Hintergrund der zum Unfallzeitpunkt geltenden Rechtsgrundlagen nicht gegeben.

Systemisch beitragende Faktoren

Die Untersuchung hat folgende Faktoren als systemisch beitragend zum Unfall ermittelt:

- Die Massen- und Schwerpunktberechnung der Ju 52 des Flugbetriebsunternehmens konnte aufgrund mangelhafter Arbeitsmittel nur fehlerhaft durchgeführt werden.
- Insbesondere die Flugbesatzungen des Flugbetriebsunternehmens, die eine Ausbildung als Luftwaffenpiloten aufwiesen, zeigten beim Fliegen der Ju 52 die Gewohnheit, systematisch anerkannte Regeln der Luftfahrt nicht einzuhalten und hohe Risiken einzugehen.
- Das Flugbetriebsunternehmen war nicht in der Lage, die während des Betriebes auftretenden Mängel und Risiken sowie die häufig begangenen Regelbrüche seiner Flugbesatzungen zu erkennen bzw. zu verhindern.
- Zahlreiche Zwischenfälle bis hin zu mehreren schweren Vorfällen wurden den zuständigen Stellen und Behörden nicht gemeldet, so dass diese keine sicherheitsverbessernden Massnahmen ergreifen konnten.
- Die Aufsichtsbehörde war teilweise nicht in der Lage, die zahlreichen betrieblichen Mängel und Risiken zu erkennen bzw. wirksam korrigierend einzugreifen.

Weitere Risiken

Die Untersuchung hat folgende risikoerhöhende Faktoren (*factors to risk*) ermittelt, die sich nicht oder nicht nachweislich auf die Entstehung des Unfalls ausgewirkt haben, aber zur Verbesserung der Flugsicherheit trotzdem beseitigt werden sollten:

- Das Flugzeug befand sich in einem nicht ordnungsgemässen technischen Zustand.
- Das Flugzeug erreichte die ursprünglich nachgewiesenen Flugleistungen nicht mehr.
- Die Instandhaltung der Flugzeuge des Flugbetriebsunternehmens war nicht zielführend organisiert.
- Die Ausbildung der Flugbesatzungen bezüglich der spezifischen Anforderungen des Flugbetriebs sowie in *Crew Resource Management* war mangelhaft.
- Die Flugbesatzungen waren bezüglich des Verhaltens der Flugzeuge bei einem Strömungsabriss nicht mit allen kritischen Situationen vertraut gemacht worden.
- Die Aufsichtsbehörde erkannte bzw. korrigierte zahlreiche technische Mängel nicht.
- Das Fachwissen der durch das Flugbetriebsunternehmen, die Instandhaltungsbetriebe und die Aufsichtsbehörde eingesetzten Personen war teilweise ungenügend.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit dem Zwischenbericht vom 20. November 2018 wurden eine Sicherheitsempfehlung und ein Sicherheitshinweis ausgesprochen. Mit diesem Schlussbericht werden sieben Sicherheitsempfehlungen und sechs Sicherheitshinweise ausgesprochen.

1 Sachverhalt

1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf

1.1.1 Vorgeschichte

Am Morgen des 3. August 2018 begann eine zweitägige Erlebnisreise von Ju-Air, die von Dübendorf nördlich der Alpen in den Kanton Tessin auf der Alpensüdseite führte. Sowohl der Hinflug am Freitag als auch der Rückflug am Samstag sollten mit dem historischen Verkehrsflugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, im Rahmen von gewerblichem Luftverkehrsbetrieb (*Commercial Air Transport* – CAT) nach Sichtflugregeln (*Visual Flight Rules* – VFR) durchgeführt werden. Beide Flüge waren den Piloten A und B anvertraut worden, die sich auf den einzelnen Flügen in den Funktionen als Kommandant und fliegender Pilot (*Pilot Flying* – PF) einerseits bzw. Copilot und überwachender Pilot (*Pilot Monitoring* – PM) andererseits abwechselten.

Der Flugdurchführungsplan (*Operational Flight Plan* – OFP) wurde durch den Piloten A mittels der Flugplanungssoftware von Ju-Air erstellt. Die Berechnung von Masse und Schwerpunktlage war Teil dieser Flugvorbereitungsarbeit. Diese Berechnung wurde unvollständig durchgeführt und war durch weitere systemische Fehler verfälscht. Auf dem erstellten Flugdurchführungsplan waren für den Start in Dübendorf eine Masse von 9965 kg und eine Schwerpunktlage bei 1.99 m hinter der Flügeleintrittskante vermerkt. Beim Start in Dübendorf betrug der rekonstruierte Wert der Masse 9714 kg und der Schwerpunkt lag 2.098 m hinter der Flügeleintrittskante. Die hintere Schwerpunktgrenze lag gemäss Flugzeughersteller 2.060 m hinter der Flügeleintrittskante (vgl. Anlagen A1.1 und A1.6).

Nachdem die Fluggäste eingetroffen waren und ihr Gepäck im Flugzeug verstaut worden war, startete die HB-HOT um 08:59 Uhr vom Militärflugplatz Dübendorf (LSMD) aus zum Flug über die Alpen zum Flugplatz Locarno (LSZL). An Bord befanden sich 17 Passagiere und eine Flugbegleiterin sowie Pilot B, der das Flugzeug als Kommandant und *Pilot Flying* führte, und Pilot A, der ihm als Copilot und *Pilot Monitoring* assistierte.

Der Flug führte von Dübendorf aus zunächst über Wädenswil, dann in südwestlicher Richtung an der Rigi vorbei und weiter in die Region Rosenlaui (vgl. Abbildung **1**). Schliesslich wurde eine Flughöhe von rund 2990 m/M erreicht. Um 09:37 Uhr wurde die HB-HOT von ihrer Flugbesatzung in einem Abstand von 30 bis 50 m zur Felswand am Ritzlihorn vorbeigesteuert. Auf dem Weiterflug über den Grimselpass und durch die Region der Cristallina wurden verschiedentlich Geländeteile in geringem Abstand passiert. Nach einem Sinkflug entlang des Maggia-tals landete die HB-HOT schliesslich um 10:13 Uhr auf dem Flugplatz Locarno (vgl. Anlage A1.1).

Die beiden Piloten hatten die Ausführung der Flüge der zweitägigen Erlebnisreise nur unter der Bedingung übernommen, dass das Flugbetriebsunternehmen für einen Lufttransport der beiden am 3. August 2018 in die Nordschweiz und am 4. August 2018 für einen erneuten Transport nach Locarno aufkommen würde. Die Geschäftsleitung von Ju-Air war mit dieser Bedingung einverstanden und so nutzte Pilot A, der am 1. August 2018 als Fluglehrer begonnen hatte, einen Flugschüler mit dem Flugzeugmuster Robin DR400 vertraut zu machen, diese Abmachung zur Weiterführung dieser Schulung. Am 3. August 2018 war deshalb der Flugschüler des Piloten A um 9 Uhr allein an Bord eines Motorflugzeuges Robin DR400/140 B, vom nordostschweizerischen Flugplatz Lommis (LSZT) aus nach Locarno gestartet, wo er kurz vor Ankunft der HB-HOT landete.

Um 10:52 Uhr startete der Flugschüler von Pilot A mit dem Piloten A als Fluglehrer und dem Piloten B als Passagier zu einem Sichtflug nach Lommis, wo er um 11:45 Uhr landete.

Den Rest des Tages verbrachten die beiden Piloten der HB-HOT in der Nordschweiz. Währenddessen absolvierten die 17 Passagiere und die Flugbegleiterin, die auch als Reiseleiterin fungierte, im Tessin das nicht-fliegerische Programm der Erlebnisreise.

Wie aus den Angaben ihrer Familien hervorgeht, verbrachten die beiden Piloten eine ausreichende Nachtruhe und standen am Morgen des 4. August 2018 gegen 7 Uhr auf.

Pilot B begab sich in der Folge zum Militärflugplatz Dübendorf, wo er für Ju-Air in der Funktion als Kommandant ab 09:15 Uhr mit einem Schwesterflugzeug der HB-HOT drei Rundflüge ausführte. Diese Rundflüge führten von Dübendorf aus jeweils in die Alpen und wieder zurück nach Dübendorf. Auf allen drei Flügen wurde das Flugzeug von der Flugbesatzung so geführt, dass es im Gebirge mehrfach deutlich unterhalb der Sicherheitsüberhöhung von mindestens 1000 ft über Grund (*above ground level* – AGL) (300 m/G) flog. Zudem wurden wesentlichen Grundsätzen für einen sicheren Gebirgsflug keine Beachtung geschenkt. Copilot war auf diesen Flügen nicht Pilot A, sondern ein anderer Pilot aus dem Pilotenkorps von Ju-Air.

Pilot A und dessen Flugschüler starteten um 13:30 Uhr mit einem Motorflugzeug Robin DR400/140 B zum Flug von Lommis nach Dübendorf, wo sie um 13:42 Uhr landeten. Sie nahmen dort den Piloten B, der kurz vorher seinen dritten Rundflug beendet hatte, an Bord und starteten um 13:55 Uhr von Dübendorf aus in Richtung Locarno. Der Flug führte anschliessend via Muotathal und Lukmanierpass auf Höhen um 9500 ft AMSL[2] (2900 m/M) südwärts über die Alpen. Während des Fluges diskutierten die Piloten A und B die Route für den Rückflug mit der HB-HOT. Dabei war man sich einig, dass man die im Flugauftrag genannte Flugdauer nutzen und mit einer entsprechend langen Route umsetzen wolle. Konkreter wurden die Piloten A und B nicht. Um 14:38 Uhr landete die Robin DR400/140 B in Locarno. Anschliessend begaben sich die Piloten A und B zur Flugplatzleitung, wo sie dafür sorgten, dass der Abflug der HB-HOT von der Hartbelagpiste erfolgen konnte, um den Hindernissen am Ende der Piste und der herrschenden hohen Lufttemperatur Rechnung zu tragen. In der Folge bereiteten die beiden Piloten das Flugzeug für den Rückflug nach Dübendorf vor. Gegen 15:45 Uhr trafen die Fluggäste auf dem Flugplatz Locarno ein und ihr Gepäck wurde durch die Piloten an verschiedenen Orten im Flugzeug verstaut.

Der Flugdurchführungsplan für den Rückflug war vom Piloten A bereits am Vortag erstellt worden. Die Berechnung von Masse und Schwerpunktlage wurde ebenfalls unvollständig durchgeführt und war durch weitere systemische Fehler verfälscht.

Auf dem erstellten Flugdurchführungsplan waren für den Start in Locarno eine Masse von 9737 kg und eine Schwerpunktlage bei 1.98 m hinter der Flügeleintrittskante vermerkt. Beim Start in Locarno betrug der rekonstruierte Wert der Masse 9387 kg und der Schwerpunkt lag bei 2.077 m hinter der Flügeleintrittskante. Die hintere Schwerpunktgrenze lag 2.060 m hinter der Flügeleintrittskante (vgl. Anlagen A1.1 und A1.6).

Die HB-HOT hatte noch ungefähr 1140 Liter Treibstoff in ihren Tanks, was einer Höchstflugdauer (*endurance*) von rund drei Stunden entsprach.

[2] AMSL: *Above mean sea level*, Höhe über dem mittleren Meeresspiegel

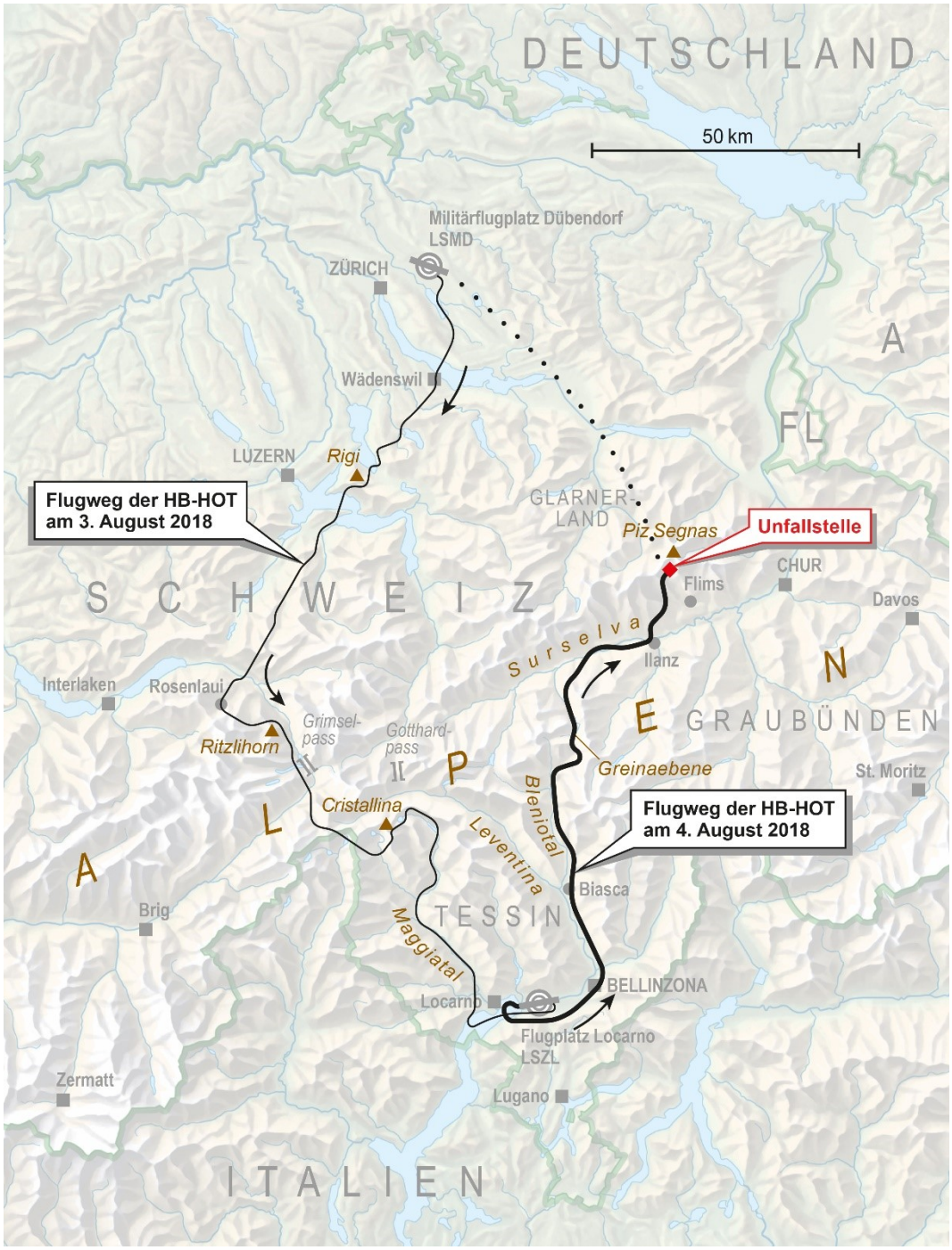

Abbildung 1: Übersicht über den Flugverlauf am 3. August 2018 vom Militärflugplatz Dübendorf zum Flugplatz Locarno und den Unfallflug am 4. August 2018. Quelle der Basiskarte: Reliefkarte des Bundesamtes für Landestopografie.

1.1.2 Flugverlauf

Am 4. August 2018 um 16:14 Uhr startete das historische Verkehrsflugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT und betrieben durch die Ju-Air, vom Flugplatz Locarno (LSZL) zu einem gewerblichen Sichtflug nach Dübendorf (LSMD). Auf diesem Flug besetzte Pilot A den linken Sitz im Cockpit und steuerte das Flugzeug als Kommandant, während ihm Pilot B als Copilot vom rechten Sitz aus assistierte.

Nach dem Start auf der Hartbelagpiste 26R gegen Westen und einer Umkehrkurve über dem Lago Maggiore führte der Flug via Bellinzona und Biasca ins Bleniotal. Die HB-HOT gewann dabei stetig an Höhe. Nördlich von Olivone drehte das Flugzeug ins Tal des Lago di Luzzone und somit in die Landschaftsruhezone Adula/Greina/Medels/Vals ein. Die Landschaftsruhezone wurde in Höhen von 120 bis 300 Meter über Grund und phasenweise mit geringem seitlichem Abstand zum Gelände durchquert.

Um 16:45 Uhr, als das Flugzeug die Alp Nadels überflog, schrieb die Flugbegleiterin in einer Textnachricht an eine Bekannte in Ruschein (Gemeinde Ilanz), sinngemäss, dass sie sich mit der Ju 52 im Anflug auf diesen Ort befände. Der Flug wurde daraufhin in der Surselva in östlicher Richtung und auf rund 2500 m/M weitergeführt. Um 16:51 Uhr überquerte das Flugzeug in der Region Ilanz mit einem nordöstlichen Kurs das Vorderrheintal und führte zunächst eine relativ enge Kurve nach links aus, die es über die Ortschaft Ruschein brachte. In der Folge führte der Flugweg in generell nördlicher Richtung vorbei am Crap Sogn Gion in Richtung des Talkessels südwestlich des Piz Segnas. Der Anflug auf diesen Talkessel erfolgte anfänglich auf der in Flugrichtung linken, westlichen Talseite. Die HB-HOT befand sich dabei im Steigflug und erreichte in der Region Nagens eine Höhe von 2833 m/M.

Beim Vorbeiflug am Berghaus Nagens (vgl. Abbildung 2) befand sich das Flugzeug in einer leichten Rechtskurve. In dieser Phase informierte um 16:55 Uhr einer der Piloten die Passagiere über die Lautsprecher in der Kabine und über die persönlichen Kopfhörer der Passagiere über die Szenerie.

Das Flugzeug flog in dieser Phase anfänglich mit einer Geschwindigkeit von 165 km/h über Grund. Bis zum Punkt F2 verringerte sich diese auf 135 km/h über Grund und blieb bis kurz vor den Punkt F3 ungefähr bei diesem Wert.

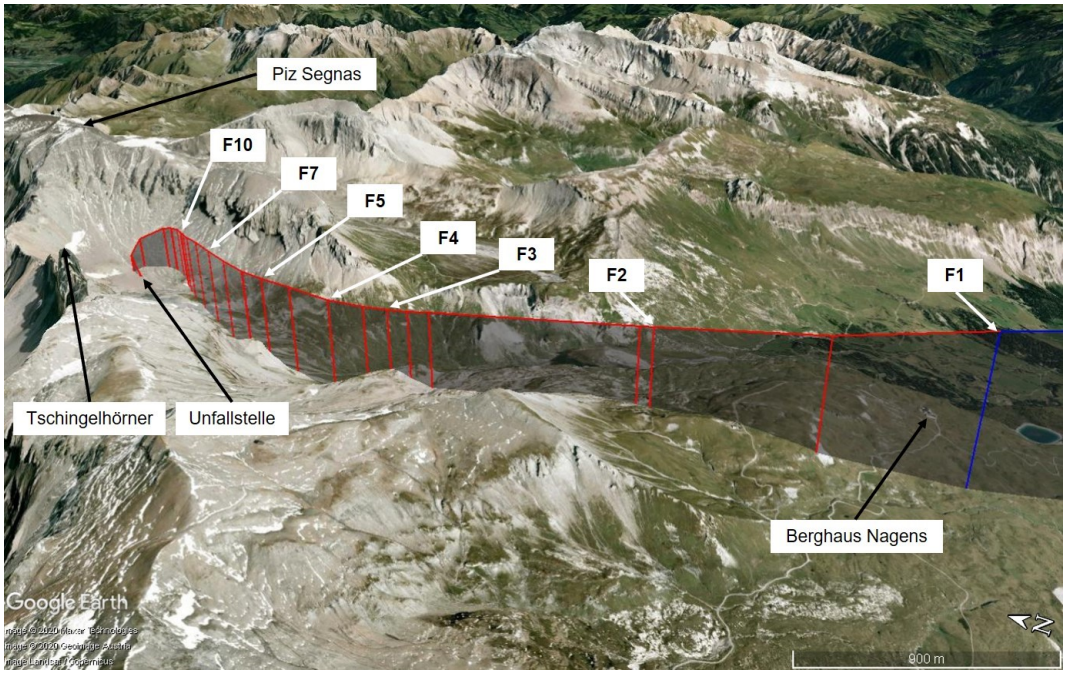

Abbildung 2: Rekonstruierter Flugweg der HB-HOT (rot) vom 4. August 2018 ab dem Berghaus Nagens bis zur Unfallstelle, dargestellt in Google Earth. Punkt F1 stellt den ersten von insgesamt 29 fotogrammetrisch ermittelten Punkten dar. Die Flughöhe beim Punkt F1 betrug 2833 m/M.

Gegen den Punkt F3 hin sank das Flugzeug leicht ab und die Geschwindigkeit über Grund vergrösserte sich für kurze Zeit um rund 65 km/h auf gegen 200 km/h. Der Längslagewinkel[3] lag während dieser Zeit bei 5 bis 7 Grad. Gegen Ende dieser Phase, kurz vor dem Punkt F4, nahm der Flugbahnwinkel[4] von - 3 auf etwa - 1 Grad ab und die Drehzahl der drei Motoren reduzierte sich dabei stetig um je ungefähr 20 Umdrehungen pro Minute. Beim Punkt F4 befand sich das Flugzeug auf einer Höhe von 2742 m/M.

Um 16:56:02 Uhr, kurz nach dem Punkt F4, wurde die Drehzahl der drei Motoren um je ungefähr 40 Umdrehungen pro Minute erhöht. Um 16:56:09 Uhr flog die HB-HOT auf einer Höhe von 2755 m/M in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas ein (Punkt F5, vgl. auch Abbildung 14) und befand sich damit rund 130 m höher als der Segnespass. Die Flugbesatzung steuerte in der Folge das Flugzeug annähernd in der Talmitte auf einem nord-nordöstlichen Kurs. Die HB-HOT stieg in dieser Phase leicht, der Flugbahnwinkel betrug ungefähr 2 Grad und der Längslagewinkel blieb weiterhin bei 5 bis 7 Grad. Um 16:56:17 Uhr erreichte das Flugzeug beim Punkt F7 eine Höhe von 2767 m/M und befand sich damit rund 140 m höher als der Segnespass.

Die HB-HOT flog dabei an den Tschingelhörnern vorbei und begann nun abzusinken, wobei sie in rund 6 Sekunden mehr als 15 m Höhe verlor. In dieser Phase wurde die Leistung der Motoren zügig um 30 bis 50 Umdrehungen pro Minute reduziert, was dazu führte, dass die Drehzahlen der Motoren zunehmend in einem engeren Band zu liegen kamen[5]. Während dieses Vorgangs erhöhte sich der Längslagewinkel und der Flugbahnwinkel nahm fortwährend grössere negative Werte an.

Als sich das Flugzeug ungefähr querab des Martinslochs und auf einer Höhe von rund 2766 m/M befand (Punkt F8), leitete die Flugbesatzung während des Sinkfluges eine Rechtskurve ein und führte anschliessend einen Kurvenwechsel nach links durch (Punkt F109, vgl. Abbildung 5). Die Geschwindigkeit über Grund betrug dabei ungefähr 170 km/h und die Winkeldifferenz zwischen Längslagewinkel und Flugbahnwinkel nahm während der Rechtskurve auf rund 15 Grad zu. Beim Übergang in die Linkskurve (zwischen Punkten F9 und F10) betrug der Längslagewinkel rund 11 Grad und der Flugbahnwinkel lag bei ungefähr - 10 Grad. Zu diesem Zeitpunkt flog das Flugzeug gegenüber dem Segnespass mit einer Überhöhung von rund 125 m (vgl. Abbildung 3).

[3] Längslagewinkel (*pitch attitude, pitch angle, pitch*): Winkel zwischen der Längsachse des Flugzeuges und der Horizontalebene im geodätischen Koordinatensystem. Positive Werte bedeuten Winkel über der Horizontalebene (*angle nose-up*), negative Werte entsprechen Winkeln unter der Horizontalebene (*angle nose-down*). Zur Illustration vgl. Abbildung 22 und Abbildung 23 sowie bezüglich der detaillierten Messwerte die grafischen Darstellungen in Kapitel 1.11.2.

[4] Flugbahnwinkel (*flight path angle* – FPA): Winkel zwischen der Tangente an die Flugbahn und der Horizontalebene im geodätischen Koordinatensystem. Negative Werte entsprechen Winkeln unter der Horizontalebene, bzw. einer sinkenden Flugbahn; positive Werte bedeuten Winkel über der Horizontalebene bzw. eine steigende Flugbahn. Zur Illustration vgl. Abbildung 22 und Abbildung 23, sowie bezüglich der detaillierten Messwerte die grafischen Darstellungen in Kapitel 1.11.2.

[5] Dieser Vorgang ist typisch, wenn die Drehzahlen der Motoren synchronisiert werden sollen.

Abbildung 3: Standbild aus einer Videoaufnahme beim Punkt F10, aufgenommen aus dem Passagierraum der HB-HOT in Blickrichtung Martinsloch (roter Pfeil). Der Längslagewinkel beträgt 11.0°, die Querlage nach links 4.8° und die Höhe 2749 m/M. Die Differenz zwischen Flugbahnwinkel und Längslagewinkel beträgt 20.6°.

Während den folgenden rund 4 Sekunden sank das Flugzeug um 25 m ab und der bereits negative Flugbahnwinkel vergrösserte sich weiter, was gut aus dem Vergleich von Abbildung 3 und Abbildung 4 sowie in Abbildung 5 zu erkennen ist.

Abbildung 4: Standbild aus einer Videoaufnahme bei Punkt F13, aufgenommen aus dem Passagierraum der HB-HOT in Blickrichtung Martinsloch (roter Pfeil), 4.3 Sekunden nach der Aufnahme in Abbildung 3. Der Längslagewinkel beträgt 12.1°, die Querlage nach links 32.7° und die Höhe 2724 m/M.

Die Rollbewegung nach links nahm nach dem Punkt F13 stetig zu und verringerte sich auch nicht, als ein deutlicher Querruderausschlag nach rechts erfolgte. In der Folge wurden die Querruder in Neutralstellung gebracht und zeitweise in eine Lage für eine Linkskurve ausgeschlagen.

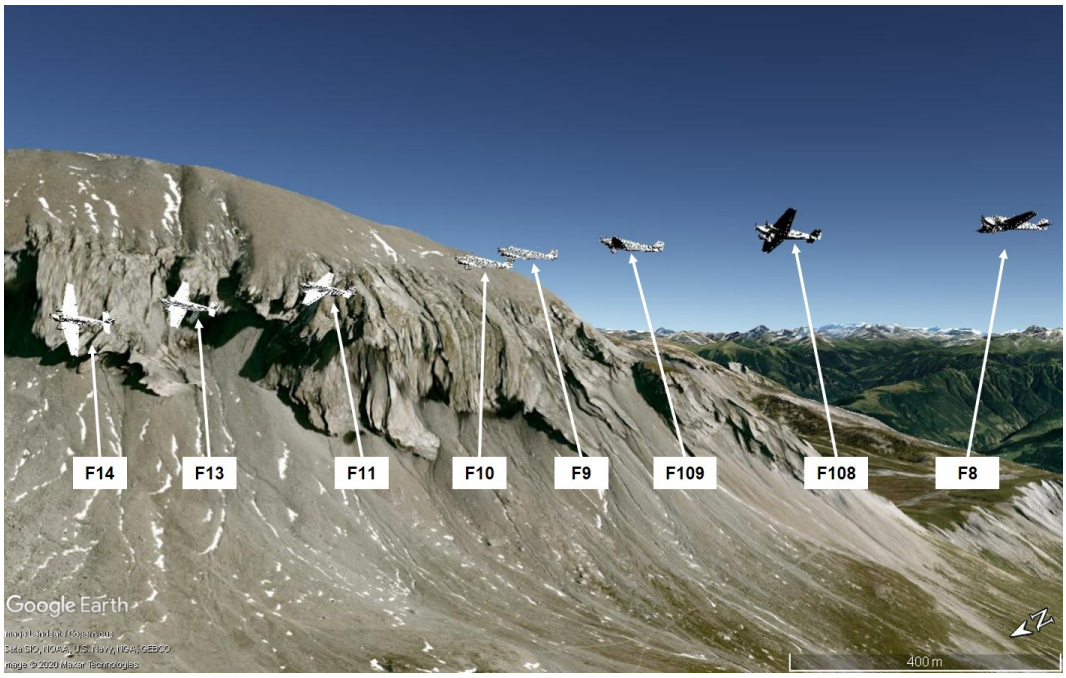

Abbildung 5: Fotogrammetrisch rekonstruierte Fluglage an exemplarischen Positionen, dargestellt in Google Earth. Das Flugzeug wurde zur Verbesserung der Erkennbarkeit um den Faktor 2 vergrössert.

Gleichzeitig begann sich der Längslagewinkel zu verkleinern und die Flugbahn wurde mit ständig wachsender Querlage nach links zunehmend steiler nach unten (vgl. Abbildung 6).

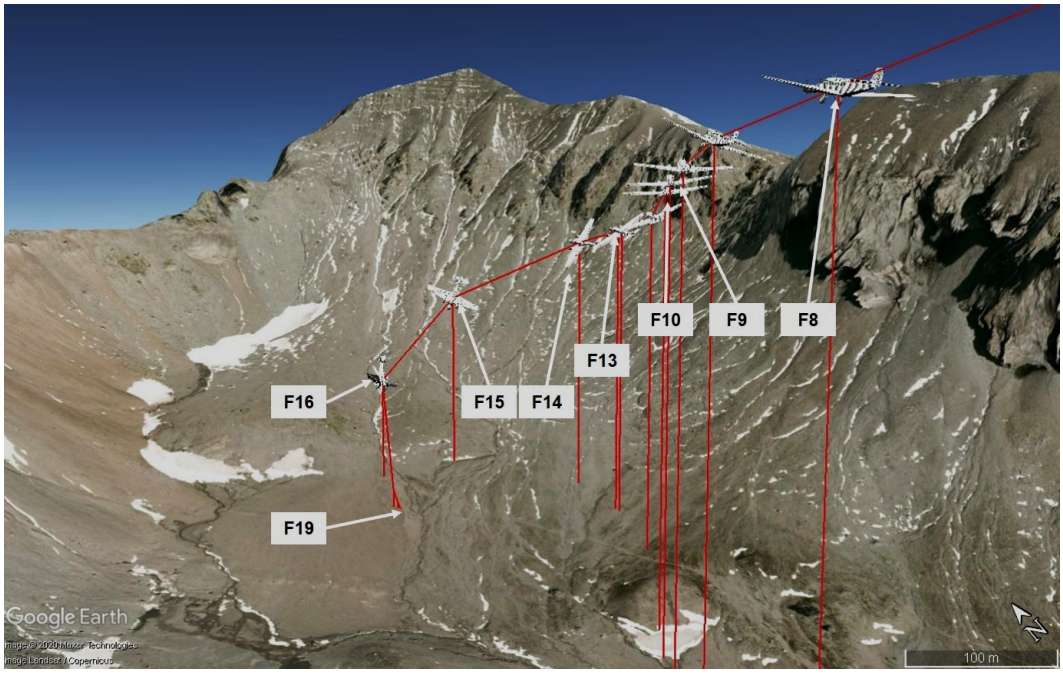

Abbildung 6: Fotogrammetrisch rekonstruierter Flugweg der HB-HOT vom 4. August 2018 (rot) zwischen dem Punkt F8 und der Unfallstelle (F19) mit dem Piz Segnas im Hintergrund, dargestellt in Google Earth. Das Flugzeug wurde zur Verbesserung der Erkennbarkeit um den Faktor 2.5 vergrössert.

Während dieser letzten Flugphase traten niederfrequente Schwingungen des Flugzeuges auf. Als sich das Flugzeug schliesslich noch 108 m über Grund befand (Punkt F16, vgl. Abbildung 6 und Abbildung 7), zeigte seine Längsachse um 68 Grad gegenüber der Horizontalen nach unten. Das Höhenruder war zu diesem Zeitpunkt um ungefähr 13 Grad nach oben ausgeschlagen und das Seitenruder zeigte um 2 Grad nach rechts.

Abbildung 7: Bild der HB-HOT bei Punkt F16 mit überlagertem dreidimensionalem Modell einer baugleichen Ju 53/3m g4e (hellblau) zwecks Bestimmung von Lagewinkeln, Flügeldurchbiegung und Ruderausschlägen. Die Blickrichtung zeigt nach Nordosten, im Hintergrund ist der südliche Ausläufer des Piz Segnas erkennbar.

Die Drehzahlen der drei Motoren waren gegenüber dem Beginn des spiralförmigen Sinkfluges leicht angestiegen und betrugen kurz vor dem Aufprall zwischen 1720 und 1750 Umdrehungen pro Minute.

Die Rollbewegung nach links beschleunigte sich in dieser Phase deutlich. Das Flugzeug prallte kurz nach 16:57 Uhr in einer vertikalen Fluglage, mit annähernd senkrechter Flugbahn und bei einer Geschwindigkeit von rund 200 km/h auf den Boden (vgl. Abbildung 8).

Abbildung 8: Rekonstruierte räumliche Positionen und Fluglagen der HB-HOT vor dem Aufprall bei den Punkten F17, F18 und F19. Das dreidimensionale Modell einer baugleichen Ju 52/3m g4e ist im rekonstruierten, räumlichen 3-D-Geländemodell mit nördlicher Blickrichtung dargestellt. Die Wrackendlage und das Trümmerfeld wurden zur Übersicht schemenhaft belassen.

Alle 20 Personen an Bord des Flugzeuges kamen beim Unfall ums Leben. Das Flugzeug wurde zerstört. Es brach kein Feuer aus.

Rekonstruktionen ergaben, dass die HB-HOT zum Zeitpunkt des Unfalls eine Schwerpunktlage von 2.071 m hinter der Flügeleintrittskante aufwies (vgl. Anlage A1.6). Im vorhandenen Foto- und Videomaterial aus dem Innern der HB-HOT fanden sich keine Hinweise darauf, dass sich während des Einflugs in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas und bis zum Beginn des spiralförmigen Sinkfluges Personen im Flugzeug bewegten bzw. dass die Personen nicht auf ihren Plätzen sassen.

Eine detaillierte Beschreibung der Rekonstruktion des Flugweges und eine grafische Darstellung der relevanten Parameter zwischen der Position F1 und der Unfallstelle finden sich in Kapitel 1.11.2. Weitere Details zu Vorgeschichte und Flugverlauf sind in Anlage A1.1 dargelegt.

1.1.3 Ort und Zeit des Unfalls

Datum und Zeit	4. August 2018, 16:57 Uhr
Beleuchtungsverhältnisse	Tag
Koordinaten[6]	195 793 / 736 424 (*Swiss Grid* 1903) N 46° 53’ 57’’ / E 009° 13’ 45’’ (WGS[7] 84)
Höhe[8]	2475 m/M entsprechend 8120 ft AMSL

1.2 Personenschäden

Verletzungen	Besatzungsmitglieder	Passagiere	Gesamtzahl der Insassen	Drittpersonen
Tödlich	3	17	20	0
Erheblich	0	0	0	0
Leicht	0	0	0	0
Keine	0	0	0	Nicht zutreffend
Gesamthaft	3	17	20	0

1.3 Schaden am Luftfahrzeug

Das Flugzeug wurde zerstört.

1.4 Drittschaden

Es entstand geringer Flurschaden.

[6] Die angegebenen Koordinaten entsprechen der Endlage des mittleren Motors und damit ungefähr der Vertikalprojektion des räumlichen Zentrums aller Wrackteile.

[7] WGS: *World Geodetic System*, geodätisches Referenzsystem: Der Standard WGS 84 wurde durch Beschluss der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) im Jahr 1989 für die Luftfahrt übernommen.

[8] Höhe gemäss Schweizerischer Landeskarte.

1.5 Angaben zu Personen

1.5.1 Flugbesatzung

1.5.1.1 Pilot A

Person	Männlich, Jahrgang 1955	
Funktionen auf dem Unfallflug	Kommandant, fliegender Pilot (*Pilot Flying* – PF)	
Lizenz	Verkehrspilotenlizenz für Flugzeuge (*Airline Transport Pilot Licence Aeroplane* – ATPL(A)) nach der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA), erstmals ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) am 20. Mai 1992	
Flugerfahrung	Gesamthaft	20 714 h
	Auf dem Unfallmuster	297 h (A)
	Während der letzten 90 Tage	90:02 h
	Davon auf dem Unfallmuster	42:50 h

(A) reine Flugstunden (ohne Rollen vor und nach dem Flug)

In den letzten zwei Monaten vor dem Unfallflug führte Pilot A insgesamt 33 Flüge auf dem Unfallmuster durch, davon 28 Flüge mit dem Piloten B, der mit ihm den Unfallflug durchführte.

In den Monaten und Jahren vor dem Unfallflug sind verschiedene sicherheitskritische Flüge dokumentiert, bei denen der Pilot A Teil der Besatzung war und in deren Verlauf Sicherheitshöhen[9] unterschritten oder andere hohe Risiken eingegangen wurden. In der Zeit von April 2018 bis und mit dem Unfalltag sind mindestens sechs Flüge der Risikokategorie 8 bis 10 (vgl. Kapitel A1.18.4) aufgezeichnet; bei vier dieser Flüge war er zusammen mit dem Piloten B eingesetzt. Am 6. Juli 2018 überflog Pilot A als Kommandant zusammen mit dem als Copilot fungierenden Piloten B im Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, das Stadtgebiet von München in einer Höhe, die erheblich unterhalb der erforderlichen Mindestflughöhe lag (vgl. Kapitel A1.17.1.18.6).

Während der letzten Streckenflugüberprüfung (*line check*) des Piloten A am 7. April 2018 wurden Sicherheitshöhen, die im VFR-*Guide* des Luftfahrthandbuches (*Aeronautical Information Publication* – AIP) dargelegt sind, deutlich unterschritten. Zudem wurde den wesentlichen Grundsätzen für einen sicheren Gebirgsflug keine Beachtung geschenkt. Diese Regelung ist seit 1981 im AIP vorhanden und war zum Zeitpunkt des Unfalls im VFR-*Guide* unter RAC 6-3[10] aufgeführt (vgl. Kapitel A1.17.6.2.2). Mit der Qualifizierung des Piloten A bei dieser Streckenflugüberprü-

[9] Der Begriff Sicherheitshöhe wurde bewusst gewählt, um die für eine sichere Flugführung notwendige Flughöhe zu bezeichnen. Diese kann je nach Situation mindestens der gesetzlichen Mindestflughöhe oder einer ausreichenden Sicherheitsüberhöhung im Gebirgsflug entsprechen.

[10] Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Schlussberichts war diese Regelung im VFR *Manual* des AIP unter RAC 4-5-2 aufgeführt.

fung war ein *Training Captain* von Ju-Air betraut, der unter anderem auch Lehrberechtigter für Musterberechtigung[11] und Prüfer[12] auf Ju 52 war. Dieser *Training Captain* bewertete die Leistung des Piloten A als gut bis sehr gut (*standard to high standard*). Die Flugwegwahl wurde als *«angepasst»* und *«vernünftig»* beschrieben.

Weitere Angaben zur Ausbildung und zu relevanten Ereignissen im Werdegang des Piloten A finden sich in Anlage A1.5.

1.5.1.2 Pilot B

Person	Männlich, Jahrgang 1956	
Funktionen auf dem Unfallflug	Copilot, assistierender Pilot (*Pilot Monitoring* – PM)	
Lizenz	Verkehrspilotenlizenz für Flugzeuge (*Airline Transport Pilot Licence Aeroplane* – ATPL(A)) nach der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA), erstmals ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) am 17. September 1992	
Flugerfahrung	Gesamthaft	19 751 h
	Auf dem Unfallmuster	945 h [(A)]
	Während der letzten 90 Tage	60:45 h
	Davon auf dem Unfallmuster	52:17 h

[(A)] reine Flugstunden (ohne Rollen vor und nach dem Flug)

In den letzten zwei Monaten vor dem Unfallflug führte Pilot B insgesamt 41 Flüge auf dem Unfallmuster durch, davon 28 Flüge mit dem Piloten A, der mit ihm den Unfallflug durchführte.

In den Monaten und Jahren vor dem Unfallflug sind verschiedene sicherheitskritische Flüge dokumentiert, bei denen Pilot B Teil der Besatzung war und in deren Verlauf Sicherheitshöhen unterschritten oder andere hohe Risiken eingegangen wurden. In der Zeit von April 2018 bis und mit dem Unfalltag sind mindestens acht Flüge der Risikokategorie 8 bis 10 (vgl. Kapitel A1.18.4) aufgezeichnet; bei vier dieser Flüge war er zusammen mit dem Piloten A eingesetzt.

Während der letzten Streckenflugüberprüfung (*line check*) des Piloten B am 12. Mai 2018 wurden Sicherheitshöhen, die im VFR-*Guide* des Luftfahrthandbuches (*Aeronautical Information Publication* – AIP) dargelegt sind, deutlich unterschritten. Zudem wurden den wesentlichen Grundsätzen für einen sicheren Gebirgsflug keine Beachtung geschenkt. Diese Regelung ist seit 1981 im AIP vorhanden und war zum Unfallzeitpunkt im VFR-*Guide* unter RAC 6-3 aufgeführt (vgl. Kapitel A1.17.6.2.2). Mit der Qualifizierung des Piloten B bei dieser Streckenflugüberprüfung war ein *Training Captain* von Ju-Air betraut, der im Flugbetriebsunternehmen auch *Ground Instructor* war. Dieser bewertete den Flug als sehr gut (*high*

[11] Lehrberechtigter für Musterberechtigung (*Type Rating Instructor* – TRI)

[12] Prüfer für Musterberechtigungen (*Type Rating Examiner* – TRE). Entsprechend ihren Bedürfnissen beantragen Flugbetriebsunternehmen oder Ausbildungsstätten beim Bundesamt für Zivilluftfahrt, geeignete Fachleute als Sachverständige einsetzen zu können. Diese Sachverständigen werden auch «Experten für Pilotenprüfungen» oder «Prüfungsexperten» genannt. Das BAZL ernennt die Sachverständigen, bildet sie aus und überwacht deren Tätigkeit. Die Sachverständigen stellen als Prüfungsexperten sicher, dass die national und international vorgegebenen Ausbildungs- und Trainingsstandards durch die Piloten erreicht und eingehalten werden.

standard). Die Flugwegwahl wurde als *«rücksichtsvoll»* und *«vorausschauend»* beschrieben.

Am 6. Juli 2013 flog Pilot B als Kommandant zusammen mit Pilot A, der damals noch als Copilot tätig war, mit dem Schwesterflugzeug HB-HOP im Steigflug in ähnlicher Weise wie auf dem Unfallflug in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas ein und überflog die Krete des Segnespasses in rund 30 m über Grund (vgl. Abbildung 9).

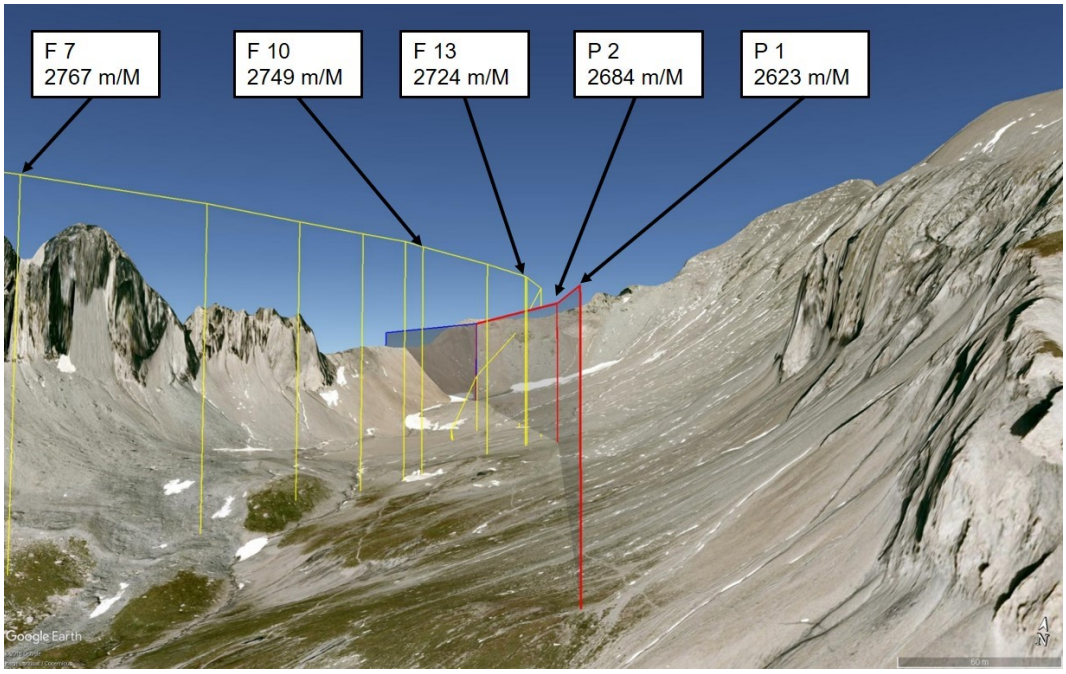

Abbildung 9: Vergleich der rekonstruierten Flugwege vom 6. Juli 2013 (rot, Punkte bezeichnet mit P), Flugwegverlängerung (blau) mit dem Unfallflug vom 4. August 2018 (gelb, Punkte bezeichnet mit F). Dargestellt in Google Earth.

Auf diesem Flug wäre eine Umkehrkurve oder ein alternativer Flugweg im nördlichen Teil des Talkessels südwestlich des Piz Segnas nicht möglich gewesen.

Weitere Angaben zur Ausbildung und zu relevanten Ereignissen im Werdegang des Piloten B finden sich in Anlage A1.5.

1.5.2 Kabinenbesatzung

1.5.2.1 Flugbegleiterin

Person	Weiblich, Jahrgang 1952
Funktion auf dem Unfallflug	Flugbegleiterin (*In-flight Service Personnel* – ISP)

1.5.3 Mitarbeitende des Flugbetriebsunternehmens

Die folgenden Personen des Flugbetriebsunternehmens Ju-Air wurden in Bezug auf ihre systemische Bedeutung bei der Entstehung des Unfalls näher untersucht:

- Verantwortlicher Betriebsleiter (*Accountable Manager);*
- Bestellte Person für den Flugbetrieb (*Nominated Person Flight Operation* – NPFO);

- Bestellte Person für den Bodenbetrieb (*Nominated Person Ground Operation* – NPGO);
- Bestellte Person für die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit (*Nominated Person Continuing Airworthiness* – NPCA);
- Verantwortliche Person für Sicherheit und Qualität (*Safety Manager* – SM) und *Compliance Monitoring Manager* (CMM).

Angaben zur Funktion und zu den Qualifikationen der Mitarbeitenden des Flugbetriebsunternehmens finden sich in Anlage A1.17.

1.5.4 Mitarbeitende der Instandhaltungsbetriebe

Die folgenden Personen der Instandhaltungsbetriebe der Ju-Air sowie der Naef Flugmotoren AG wurden in Bezug auf ihre systemische Bedeutung bei der Entstehung des Unfalls näher untersucht:

- Betriebsleiter der Ju-Air;
- *Aircraft Maintenance Manager* der Ju-Air;
- *Workshop Manager* der Ju-Air;
- Technischer Leiter der Naef Flugmotoren AG;
- Auditor der beiden Betriebe.

Angaben zur Funktion und zu den Qualifikationen der Mitarbeitenden der Instandhaltungsbetriebe finden sich in Anlage A1.17.

1.5.5 Mitarbeitende des Bundesamtes für Zivilluftfahrt

Die folgenden Funktionen des Personals des Bundesamtes für Zivilluftfahrt als nationale Aufsichtsbehörde[13] wurden in Bezug auf ihre systemische Bedeutung bei der Entstehung des Unfalls näher untersucht:

- Führungsebene betriebliche Aufsicht;
- Führungsebene technische Aufsicht;
- betriebliche Inspektoren;
- technische Inspektoren.

Angaben zur Bedeutung dieser Funktionen im vorliegend untersuchten Unfall finden sich in Anlage A1.17.

1.6 Angaben zum Luftfahrzeug

1.6.1 Geschichtlicher Hintergrund

Das Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, wurde zusammen mit den beiden baugleichen Flugzeugen HB-HOS und HB-HOP im Jahr 1939 durch den staatlichen Rüstungsbetrieb Junkers Flugzeug- und Motorenwerke AG (JFM) in Deutschland gebaut. In diesem Jahr beschaffte die Schweizerische Eidgenossenschaft diese drei Flugzeuge für die Flieger- und Fliegerabwehrtruppen[14]. Die HB-HOT war damals militärisch als A-702 eingetragen und ursprünglich als

[13] Unter dem Begriff Aufsichtsbehörde wird die nationale oder supranationale Behörde verstanden, die für die Erteilung von betrieblichen und technischen Zulassungen sowie für die betriebliche und technische Aufsicht über die entsprechenden Unternehmen oder Organisationen verantwortlich ist.

[14] Die damalige Flieger- und Fliegerabwehrtruppen wurden am 1. Januar 1996 in Luftwaffe umbenannt.

Hörsaalflugzeug für die Ausbildung von fliegenden Beobachtern und Bordfunkern vorgesehen. Die durch die Schweiz beschaffte Version war mit drei Neunzylinder-Sternmotoren des Baumusters BMW 132 A3 ausgerüstet, die für eine Nennleistung von je 660 PS[15] ausgelegt waren. Temporär wurden die drei Ju-52-Flugzeuge der Fliegertruppen für Auslandeinsätze zivil immatrikuliert betrieben. Im Jahr 1981 wurden die drei Junkers Ju 52/3m g4e bei den Fliegertruppen ausser Dienst gestellt. Die HB-HOT verzeichnete zu diesem Zeitpunkt 3545 Betriebsstunden.

Der Verein der Freunde des Museums der Schweizerischen Fliegertruppen (VFMF) wurde im Jahr 1979 gegründet und setzte ab dem Jahr 1982 zuerst die HB-HOS sowie die HB-HOP und ab dem Jahr 1985 die HB-HOT für gewerbliche Flüge ein. Dabei wurde dem Verein die HB-HOT von den Fliegertruppen als Dauerleihgabe überlassen.

Der Verein der Freunde der Fliegerabwehrtruppen (VF Flab) und der VFMF fusionierten im Jahre 1997 zum neuen Verein der Freunde der Schweizerischen Luftwaffe (VFL). Dieser bezweckt die Erhaltung der Schweizerischen Militärflugzeuge und verwandter Geräte.

Der VFL war unter dem Namen «Ju-Air» für den Flugbetrieb, die Instandhaltung der Flugzeuge und die Organisation zur Führung der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit (*Continuing Airworthiness Management Organisation* – CAMO) verantwortlich.

Bei der zivilen Inbetriebnahme des Baumusters Ju 52/3m g4e durch das Flugbetriebsunternehmen war schon seit längerer Zeit kein Hersteller und auch kein Halter des Baumusterzeugnisses mehr vorhanden.

Zum Zeitpunkt des Unfalls wies das Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, rund 10 189 Betriebsstunden auf.

1.6.2 Flugeigenschaften

Das Muster Junkers Ju 52/3m g4e gilt allgemein als robust und gutmütig. Es verfügt bei höchstzulässiger Abflugmasse und Nennleistung der drei Motoren über ein Masse-Leistungs-Verhältnis von 5.3 kg/PS. Damit gehört es zu den leistungsschwachen Flugzeugen und ist diesbezüglich mit einer Cessna 152 (Masse-Leistungsverhältnis 6.9 kg/PS) oder einer Piper Super Cub (Masse-Leistungs-Verhältnis 4.5 kg/PS bis 5.4 kg/PS) vergleichbar.

Als empfohlene Steigfluggeschwindigkeit werden in der ursprünglichen Betriebsanweisung des Herstellers 140 km/h angezeigte Fluggeschwindigkeit angegeben.

Die Abrissgeschwindigkeit des Musters beträgt gemäss Luftfahrzeug-Flughandbuch 107 km/h angezeigter Fluggeschwindigkeit unter folgenden Voraussetzungen:

- die Masse des Flugzeuges beträgt 9200 kg;
- alle drei Motoren geben eine Leistung ab, die 1750 Umdrehungen pro Minute entspricht;
- die Hilfsflügel sind eingefahren.

Aus dieser Angabe kann errechnet werden, dass auf der Flughöhe von 2800 m/M bei sonst gleichen Bedingungen der kritische Anstellwinkel für einen Strömungsabriss im Horizontalflug bei 125 km/h wahrer Fluggeschwindigkeit erreicht wird.

Eine Manövergeschwindigkeit ist im Luftfahrzeug-Flughandbuch nicht angegeben. Für eine Flugmasse von 9200 kg und eine Normalbeschleunigung von 2.5 g kann

[15] PS: Pferdestärke, historische Einheit zur Leistungsangabe, 1 PS entspricht 0.736 kW.

diese zu 169 km/h angezeigter Fluggeschwindigkeit berechnet werden. Unter den gegebenen Verhältnissen entspricht dies 197 km/h wahrer Fluggeschwindigkeit.

Gemäss Aussagen von erfahrenen Piloten des Flugbetriebsunternehmens unterschieden sich die Flugeigenschaften der drei Schwesterflugzeuge Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOP, HB-HOS und HB-HOT, nicht wesentlich. Bei der Annäherung an einen Strömungsabriss im Geradeausflug zeigten die Ju 52/3m g4e von Ju-Air leichte Vibrationen (*buffeting*) und gingen schliesslich in einen Sackflug über. Sie konnten jeweils durch Nachlassen der Steuer bzw. sanftes Nachdrücken des Höhensteuers, was eine Verringerung des Anstellwinkels zur Folge hatte, rasch wieder in einen kontrollierten Flugzustand gebracht werden. Im Kurvenflug hatten die Junkers Ju 52/3m g4e die Eigenschaft, bei einem Strömungsabriss in Richtung Kurveninnenseite abzukippen.

1.6.3 Konstruktive Merkmale

Die Struktur des Baumusters Ju 52/3m g4e wurde als Ganzmetallflugzeug in Fachwerkbauweise ausgelegt, bei dem die Beplankung aus Wellblechen bestand. Die Bauteile wurden grösstenteils aus Aluminium und Stahl fabriziert. Für die Strukturteile aus Aluminium wurde die hochfeste Legierung Duralumin verwendet. Bei den Bauteilen aus Stahl handelte es sich vorwiegend um Schweisskonstruktionen aus Blech.

Die Bauteile wurden miteinander vernietet. Dabei wurden Nieten aus Duralumin wie auch aus Stahl verwendet. Alle Bauteile wurden mit einem Schutzanstrich gegen Korrosion versehen. Die Bleche für die Beplankung und von Profilen wurden zudem bei der Fabrikation beidseitig mit einer dünnen, korrosionsresistenteren Aluminiumlegierung plattiert.

Bei Duralumin handelt es sich um eine Aluminium-Kupfer-Magnesium-Legierung, die hohe Festigkeitswerte und gute plastische Dehnwerte aufweist. Der Nachteil dieser Aluminiumlegierung liegt in der eingeschränkten Korrosionsfestigkeit. Diese kann jedoch mit einem geeigneten und intakten Schutzanstrich erhöht werden. Bei einer thermischen Belastung wird die Korrosionsanfälligkeit des Materials deutlich erhöht.

Weiterführende Angaben zu den konstruktiven Merkmalen und den Leistungsdaten sowie insbesondere ausführliche Beschreibungen der Flugzeugsysteme und der Motoren finden sich in Anlage A1.6.

1.6.4 Lufttüchtigkeitszeugnis und Luftfahrzeugkategorie

Damit das Flugzeug Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, im zivilen gewerblichen Luftverkehr eingesetzt werden konnte, stellte das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) am 21. August 1985 ein nationales Lufttüchtigkeitszeugnis (*Certificate of Airworthiness* – CofA) aus, das eine Übereinstimmung mit dem Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 deklarierte. Durch dieses Lufttüchtigkeitszeugnis war die HB-HOT in der Lufttüchtigkeitskategorie «Standard», Unterkategorie «Normal» eingeteilt.

Nach Gründung des Zusammenschlusses von zivilen Luftfahrtbehörden zur *Joint Aviation Authorities* (JAA) war auch die Schweiz bis zum 1. Dezember 2006 Mitglied der JAA. In dieser Zeit blieb die Kategorisierung der HB-HOT unverändert.

Seit dem 1. Dezember 2006 ist die Schweiz aufgrund des Luftverkehrsabkommens der supranationalen Zulassungs- und Aufsichtsbehörde Europäische Agentur für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA) angeschlossen. Über das Luftverkehrsabkommen wurden gewisse europäische Rechtsnormen für die Schweiz verbindlich. Gemäss der damals gültigen europäischen Verordnung

(EU) Nr. 216/2008[16] gehörten die Ju-52-Flugzeuge von Ju-Air zu den Luftfahrzeugen nach Anhang II, genauer in die dortigen Kategorien (a)(ii) («*Luftfahrzeuge von eindeutiger historischer Bedeutung*») und (d) («[ehemals] *militärisch genutzte Luftfahrzeuge*»). Luftfahrzeuge nach Anhang II waren vom Geltungsbereich gewisser europäischer Verordnungen ausgenommen. Für den Betrieb und die Ausrüstung waren die europäischen Verordnungen hingegen anwendbar. Bezüglich der Lufttüchtigkeit und der entsprechenden Kategorisierung bildete die nationale Verordnung des UVEK[17] über die Lufttüchtigkeit von Luftfahrzeugen (VLL, SR *748.215.1*) die anwendbare Rechtsgrundlage.

Die VLL unterscheidet zwischen den Lufttüchtigkeitskategorien Standard- und Sonderkategorie. Luftfahrzeuge der Standardkategorie müssen den Anforderungen der für die Schweiz anwendbaren europäischen Verordnungen entsprechen und werden mittels eines Lufttüchtigkeitszeugnisses (*Certificate of Airworthiness* – CofA) für den Verkehr zugelassen.

Luftfahrzeuge, die den Anforderungen der Standardkategorie nicht oder nicht vollständig entsprechen, gehören der Sonderkategorie an. Jedes Luftfahrzeug der Sonderkategorie wird einer Unterkategorie zugeteilt und über eine Fluggenehmigung (*permit to fly*) für den Verkehr zugelassen.

Weil die Flugzeuge Junkers Ju 52/3m g4e der Ju-Air den europäischen Vorgaben nicht entsprachen, hätten sie in die Sonderkategorie, Unterkategorie «Historisch» gehört.

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt erneuerte demgegenüber am 7. Juni 2007 das Lufttüchtigkeitszeugnis des Flugzeuges Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, vom 21. August 1985. Das Flugzeug verblieb in der Standardkategorie und das Lufttüchtigkeitszeugnis deklarierte eine Übereinstimmung mit dem Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944.

Weitere Angaben zu den Hintergründen der Luftfahrzeugkategorie finden sich in Anlage A1.6.

1.6.5 Instandhaltung

1.6.5.1 Betriebszeiten der Motoren

In der Betriebsanleitung für die im Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air eingebauten Neunzylinder-Sternmotoren des Baumusters BMW 132 A3 hatte der Hersteller dieser Motoren vorgesehen, dass diese Triebwerke alle 200 bis 300 Betriebsstunden eine Grundüberholung benötigen würden.

Nach dem Übergang in den zivilen Betrieb beantragte das Flugbetriebsunternehmen beim Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) verschiedentlich, die Betriebszeit zwischen zwei Grundüberholungen zu erhöhen. Das BAZL genehmigte schrittweise eine Erhöhung der Betriebszeit bis auf 1500 Betriebsstunden.

Die vorliegenden Unterlagen zu den Motoren des Flugzeuges Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, zeigen, dass seit der jeweils letzten

[16] Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Februar 2008 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit, zur Aufhebung der Richtlinie 91/670/EWG des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 und der Richtlinie 2004/36/EG. Diese Verordnung wurde kurz nach dem Unfall vom 4. August 2018 aufgehoben. Die Nachfolger-Verordnung (EU) 2018/1139 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2018 trat in der EU am 11. September 2018, in der Schweiz am 1. September 2019 in Kraft. Dabei wurden in Anhang I Luftfahrzeuge aufgeführt, die in der Schweiz der Sonderkategorie angehören. In Anhang II sind nun die grundlegenden Anforderungen an die Lufttüchtigkeit beschrieben.

[17] UVEK: Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation

Grundüberholung die bewilligten Betriebszeiten von 1500 Stunden nicht erreicht wurden. Stattdessen waren laufend Reparaturen und insbesondere das Auswechseln von wichtigen Komponenten ausserhalb einer Grundüberholung notwendig.

Weitere Angaben zur Untersuchung der Motoren finden sich in Anlage A1.6.

1.6.5.2 Störungen

Im Zeitraum zwischen 2008 und dem Unfall wurden an den Motoren der Flugzeuge von Ju-Air zahlreiche Störungen verzeichnet. Davon traten nachweislich 17 sicherheitsrelevante Motorstörungen oder Fehlfunktionen eines Systems in Zusammenhang mit einem Motor während des Fluges auf. Dabei musste ein Motor während des Fluges stillgelegt werden oder es fand jeweils eine Leistungsreduktion statt. In 14 dieser 17 Fälle wurde der Flug abgebrochen. In einem Fall fiel ein Motor ganz aus.

Zwischen 2012 und 2018 traten aufgrund von losen Propellerblättern mehrere Fälle von starken Vibrationen während des Fluges auf. Weitere Angaben dazu finden sich in Anlage A1.6.

Detaillierte Angaben zu diesen Zwischenfällen finden sich in Anlage A1.17.

1.6.5.3 Flugleistungen

Die Instandhaltungsunterlagen und insbesondere die Aufzeichnungen der Prüf- und Standläufe der Motoren des Flugzeuges Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, belegen, dass die ursprünglich nachgewiesenen Flugleistungen zum Zeitpunkt des Unfalls nicht mehr erreicht werden konnten.

Weitere Angaben zu diesen Abklärungen finden sich in Anlage A1.6.

1.6.5.4 Ersatzteilbewirtschaftung

Schon kurze Zeit nach Aufnahme des zivilen Flugbetriebs begann Ju-Air, Ersatzteile für die Motoren und die Zelle nach Muster herstellen oder alte Teile aufarbeiten zu lassen, weil solche Teile schon länger nicht mehr erhältlich waren. Nicht alle Betriebe, die solche Teile herstellten bzw. aufarbeiteten, verfügten über eine entsprechende Zulassung für die Luftfahrt.

Weil kein Hersteller des Flugzeugmusters bzw. der Motoren und auch kein Halter des Baumusterzeugnisses mehr vorhanden waren, beschrieb das Flugbetriebsunternehmen zwischen 1984 und 2001 die entsprechenden Verfahren in 41 Änderungsanweisungen (*Service Bulletin* – SB). Diese wurden jeweils dem BAZL vorgelegt, das sie genehmigte. Im Jahr 2005 wurde ein weiteres, neues SB durch das BAZL genehmigt. Ein bestehendes SB wurde im Jahr 2018 bezüglich der Prozesse und Unterauftragnehmer aktualisiert. Für zahlreiche neuangefertigte Bauteile wurden keine *Service Bulletins* mehr angefertigt. Das Bundesamt für Zivilluftfahrt bemerkte bzw. bemängelte dieses Vorgehen nie.

Details und Beispiele zur Ersatzteilbewirtschaftung finden sich in Anlage A1.6.

1.6.5.5 Qualität und Dokumentation

Die Untersuchung des Wracks des verunfallten Flugzeugs HB-HOT in Verbindung mit der vorhandenen Dokumentation der durchgeführten Instandhaltungsarbeiten zeigte zahlreiche Mängel auf. Insbesondere fehlten im Instandhaltungsprogramm von Ju-Air wesentliche Angaben, wie zum Beispiel: Teil- und Grundüberholungen der Zelle, Angaben zum Oberflächenschutz und Sonderkontrollprogramme (*Supplemental Structural Inspection Document* – SSID). Die Mehrheit der Teile wurde

bei den jeweiligen Kontrollen auf ihren Zustand hin überprüft und bei Bedarf ersetzt, repariert oder grundüberholt.

Generell war die Nachvollziehbarkeit der ausgeführten Instandhaltungsarbeiten sowie der Änderungen und Reparaturen erschwert, weil die Unterlagen zur Instandhaltung fehlerhaft, unvollständig oder unsystematisch geführt waren.

Beispiele zu Qualitätsproblemen und Mängeln bei der Dokumentation finden sich in Anlage A1.6.

1.7 Meteorologische Angaben

1.7.1 Allgemeine Wetterlage

Die Alpen lagen unter einem Ausläufer des Azorenhochs. Die Druckverteilung am Boden war flach und die vertikale Schichtung der Luftmasse begünstigte die Bildung von Quellwolken. Auf der Höhe des Alpenkammes wehte der Wind aus Nordwest bis Nordost. Die Nullgradgrenze lag zwischen rund 4400 m/M südlich der Alpen und 4600 m/M im Norden.

1.7.2 Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des Unfalls

Die folgenden Angaben zum Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des Unfalls basieren auf einer räumlichen und zeitlichen Interpolation verschiedener Wetterinformationen, die detailliert in Anlage A1.7 aufgeführt sind.

In den Bündner und Glarner Alpen herrschte sonniges und warmes Wetter mit Quellwolken mit Basis um 10 000 ft AMSL bzw. 2800 bis 3400 m/M. Zwischen Vorab und Piz Segnas wehte der Wind auf der Passhöhe und der anfänglichen Flughöhe aus Nord bis Nordwest. Zusammen mit der noch aktiven Thermik führte das im Talkessel südlich des Segnespasses zu turbulenten Windverhältnissen. Auf der Flughöhe von 9000 ft AMSL (2750 m/M) war die Atmosphäre rund 13 °C wärmer als die ICAO[18]-Standardatmosphäre, was einer Dichtehöhe von 10 100 ft AMSL (3080 m/M) entspricht.

Auf den archivierten Bildern des Wetterradarnetzes von MeteoSchweiz ist erkennbar, dass rund 7 km westlich der Unfallstelle, wie auch 15 bis 20 km westlich in der Gegend von Linthal, schwache Regenschauer auftraten. Die Cumulusbewölkung über dem Piz Segnas und seiner Umgebung ist auf den Webcam-Aufnahmen (vgl. Anlage A1.7) sichtbar.

Wetter/Wolken	3/8 bis 4/8 Cumulusbewölkung mit Basis auf rund 10 000 ft AMSL (3000 m/M)
Sicht	mehr als 10 km
Wind	Station Crap Masegn[19] 009°/16 kt, in Böen 26 kt COSMO-Analyse[20] auf der Flughöhe beim Einflug in den Talkessel 340°/18 kt (±Böen) an einer Messstation 3 km südlich[21] böige 10 kt aus Nord an der Absturzstelle am Boden[22] 060°/17 kt

[18] ICAO: *International Civil Aviation Organization,* Internationale Zivilluftfahrtorganisation

[19] nächstgelegene, ähnlich exponierte Messstation von MeteoSchweiz auf 2480 m/M (Wind auf 2495 m/M; Temperatur und Druck auf 2482 m/M)

[20] feinmaschiges Wettermodell von MeteoSchweiz

[21] Messstation der Flims Electric AG

[22] aus der Analyse der Verlagerung der Staubwolke nach dem Aufprall

Temperatur/Taupunkt	Station Crap Masegn 14.9 °C/6.7 °C COSMO-Analyse auf Flughöhe 10.5 °C/7.4 °C
Luftdruck	Station Crap Masegn 762.3 hPa, entsprechend einem QNH[23] von 1030.8 hPa COSMO-Analyse auf 2750 m/M 738.3 hPa QNH auf der Alpensüdseite (LSZL) 1014 hPa QNH auf der Alpennordseite (LSMD) 1017 hPa
Gefahren[24]	«Isolierte Schauer und Gewitter, vor allem über den Bergen. Temperatur über 30 Grad (Dichtehöhe beachten)»

1.7.3 Astronomische Angaben

Sonnenstand	Azimut: 252°	Höhe: 39°
Beleuchtungsverhältnisse	Tag	

1.7.4 Wetterbeobachtungen durch andere Flugbesatzungen

Unmittelbar vor dem Unfall der HB-HOT überflog am 4. August 2018 um 16:55 Uhr ein einmotoriges, zweiplätziges Motorflugzeug des Baumusters Cessna 152 von Süden herkommend den Segnespass. An Bord befanden sich ein Flugschüler und ein Fluglehrer auf einem Alpeneinweisungsflug. Das Flugzeug traf in der Region Flims auf Abwindfelder und die Besatzung entschloss sich, an der Ostseite des Talkessels südwestlich des Piz Segnas entlang zu fliegen, damit auch bei anhaltendem Abwind jederzeit eine Umkehrkurve möglich gewesen wäre. Auf der gewählten Flughöhe von 9100 ft AMSL entsprechend 2800 m/M flog die Cessna 152 in Aufwinde ein, die erst kurz vor dem Segnespass nochmals kurz durch ein schwaches Abwindfeld unterbrochen wurden. Die Überquerung der Krete des Segnespasses war problemlos möglich. Scherungen und Turbulenz wurden auf dieser Flughöhe nicht angetroffen (vgl. Abbildung 10 und Anlage A1.7).

Abbildung 10: Bild der Cessna 152 (im roten Kreis) vor dem Piz Segnas kurz vor der Überquerung der Krete östlich des Segnespasses mit Flugrichtung nach Westen am 4. August 2018 um 16:55 Uhr. Die Bewölkung über dem Piz Segnas ist dieselbe, die auf den Webcam-Aufnahmen sichtbar ist (vgl. Anlage A1.7). Hinter dem Pass ist die Situation aufgrund dieser Aufnahme unklar, aber sowohl die Webcam-Aufnahmen von Elm wie auch die Aussage des Fluglehrers und die Abbildung 3 in diesem Bericht belegen, dass die Sicht über und hinter den Segnespass beim Anflug der HB-HOT frei war.

[23] QNH: Druck reduziert auf Meereshöhe, berechnet mit den Werten der ICAO-Standardatmosphäre

[24] Zitat aus Flugwetterübersicht von MeteoSchweiz von 13 Uhr (vgl. Anlage A1.7)

1.7.5 Weitere Angaben und Abklärungen

Im Rahmen der Untersuchung wurden die für den Unfallflug gültigen Wettervorhersagen, Aussagen von Augenzeugen, Webcam-Aufnahmen, Satellitenbilder, Aufzeichnungen von Wetterradars und Ballonsonden erhoben und analysiert. Um das Flugverhalten und die während der Entstehung des Unfalls herrschenden aerodynamischen Grössen, wie Anstellwinkel und Geschwindigkeit gegenüber der Luft, zu rekonstruieren, wurden die kleinräumigen Bewegungen der Luftmassen im Talkessel südwestlich des Piz Segnas möglichst gut ermittelt. Zu diesem Zweck wurden die Windströmungen um den Segnespass unter Verwendung eines feinmaschigen Modells simuliert. Um die Häufigkeit und das Ausmass der dabei errechneten Effekte validieren und quantifizieren zu können, wurden zwischen dem 17. Juli 2019 und dem 14. September 2019 Messungen im Unfallgebiet durchgeführt. Dabei ermittelte eine klassische Wetterstation den Wind, die Temperatur und die Feuchte auf der Krete neben dem Segnespass. Ein Lidar[25]-System erfasste von einem Messort im Talkessel aus die dreidimensionalen Strömungsverhältnisse. Ein besonderes Augenmerk galt dabei der typischen Vertikalwindverteilung im Bereich des Flugweges kurz vor dem Beginn der spiralförmigen Flugbahn. Details und Messwerte zu diesen Abklärungen finden sich in Anlage A1.7.

1.8 Navigationshilfen

Nicht betroffen

1.9 Kommunikation

Der Sprechfunkverkehr zwischen der Flugbesatzung der HB-HOT und den kontaktierten Stellen der Flugsicherung wickelte sich bis zum Verlassen der Frequenz von *Locarno Tower* am 4. August 2018 um 16:22 Uhr ohne erkennbare Schwierigkeiten ab. Die HB-HOT stand zu keiner Zeit der Erlebnisreise in Sprechfunkkontakt mit dem Fluginformationsdienst *Zurich Information*.

1.10 Angaben zum Flugplatz

Der Flugplatz Locarno liegt auf einer Höhe von 650 ft AMSL oder 198 m/M und wird von der Luftwaffe und von der Zivilluftfahrt gemeinsam genutzt und betrieben. Er verfügt über die zwei Graspisten 08C/26C und 08R/26L mit den Abmessungen von je 700 m x 30 m. Zusätzlich ist die Hartbelagpiste 08L/26R mit den Abmessungen 800 m x 23 m vorhanden. Auf Piste 26R, die von der HB-HOT benutzt wurde, standen 670 m Startrollstrecke zur Verfügung.

Während der Betriebszeiten der Luftwaffe oder wenn der zivile Flugbetrieb es erfordert, werden durch Skyguide Flugverkehrsleitdienste (*Air Traffic Control Service* – ATS) angeboten. Während des Abfluges der HB-HOT am 4. August 2018 war die Platzverkehrsleitstelle besetzt.

1.11 Flugschreiber und Aufzeichnungsgeräte

1.11.1 Rekonstruktion der Flugwege

1.11.1.1 Vorgehen

Da das verunfallte, historische Verkehrsflugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, mit keinerlei Aufzeichnungsgeräten ausgerüstet war, musste für

[25] Lidar: *Laser Detection and Ranging* – ein Messsystem, das Laserimpulse aussendet und das aus der Atmosphäre zurückgestreute Licht, in diesem Fall hinsichtlich des Dopplereffekts, auswertet. Hier wurde es zur dreidimensionalen Windmessung über dem Standort genutzt.

die Flugwege für den Hinflug nach Locarno am 3. August 2018 und den Unfallflug am 4. August 2018 auf andere Datenquellen zurückgegriffen werden:

- Weite Teile der Flugwege der HB-HOT wurden mittels der Radardaten, die von einem *Multi Radar Tracker* (MRT) oder von einzelnen Radarstationen stammten, rekonstruiert.
- Es wurden umfangreiches Bild- und Videomaterial sowie Aussagen von zahlreichen Augenzeugen, welche die HB-HOT vom Boden aus beobachtet hatten, ausgewertet.
- Ausserdem konnten an der Unfallstelle 44 elektronische Einheiten aus Mobiltelefonen und Videokameras von Passagieren und Besatzungsmitgliedern sichergestellt werden. Diese Aufzeichnungsgeräte wurden beim Unfall teilweise stark beschädigt. Schliesslich konnten zehn dieser Datenträger ausgelesen werden.

Zur Ermittlung der Positionen des verunfallten Flugzeuges im Raum, dessen Lagewinkeln in drei Achsen und dessen Geschwindigkeit gegenüber dem Boden wurden insbesondere für die entscheidende Flugphase vor dem Unfall aufwändige fotogrammetrische Auswertungen vorgenommen.

Die Methodik der Auswertung zur Rekonstruktion der Flugwege und der fotogrammetrischen Auswertung sind in Anlage A1.19 beschrieben.

1.11.1.2 Flugphase vom Vorderrheintal in Richtung Segnespass

Ausgehend von den höhenkorrigierten MRT-Datenpunkten (blaue Punkte in Abbildung 11 und Abbildung 12) flog die HB-HOT am 4. August 2018 um 16:54 Uhr an der Bergstation des Crap Sogn Gion (2215 m/M, vgl. Abbildung 12) vorbei. Dabei wies das Flugzeug eine Flughöhe von rund 2740 m/M auf und befand sich in einer leichten Linkskurve. Beim ersten fotogrammetrisch ermittelten Punkt F1[26] befand sich die HB-HOT auf einer Flughöhe von 2833 m/M auf einem rechtweisenden Kurs über Grund (*True Track* – TT) von 335 Grad (vgl. Abbildung 12). Die vom MRT berechnete Geschwindigkeit gegenüber dem Boden (*Ground Speed* – GS) betrug wenige Sekunden vor dem Punkt F1 94 kt (entsprechend 48.4 m/s bzw. 174.1 km/h).

[26] Die fotogrammetrisch ermittelten Punkte sind im Bericht mit dem Buchstaben «F» bezeichnet und nummeriert.

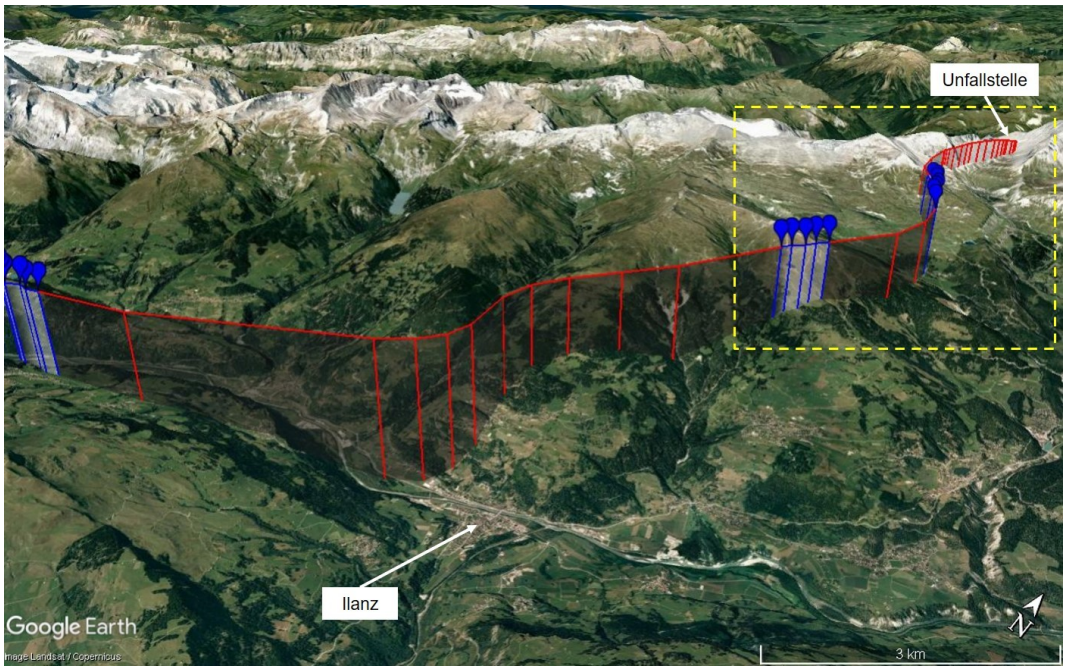

Abbildung 11: Rekonstruierter Flugweg der HB-HOT vom 4. August 2018 bei Ilanz (GR) und bis zur Unfallstelle mit höhenkorrigierten MRT-Datenpunkten (blau), aus Zeugenaussagen und Bildmaterial rekonstruierten sowie fotogrammetrisch ermittelten Flugwegabschnitten (rot), eingezeichnet in Google Earth. Der in der nachfolgenden Abbildung 12 dargestellte Bereich ist durch das gelb-gestrichelte Rechteck gekennzeichnet.

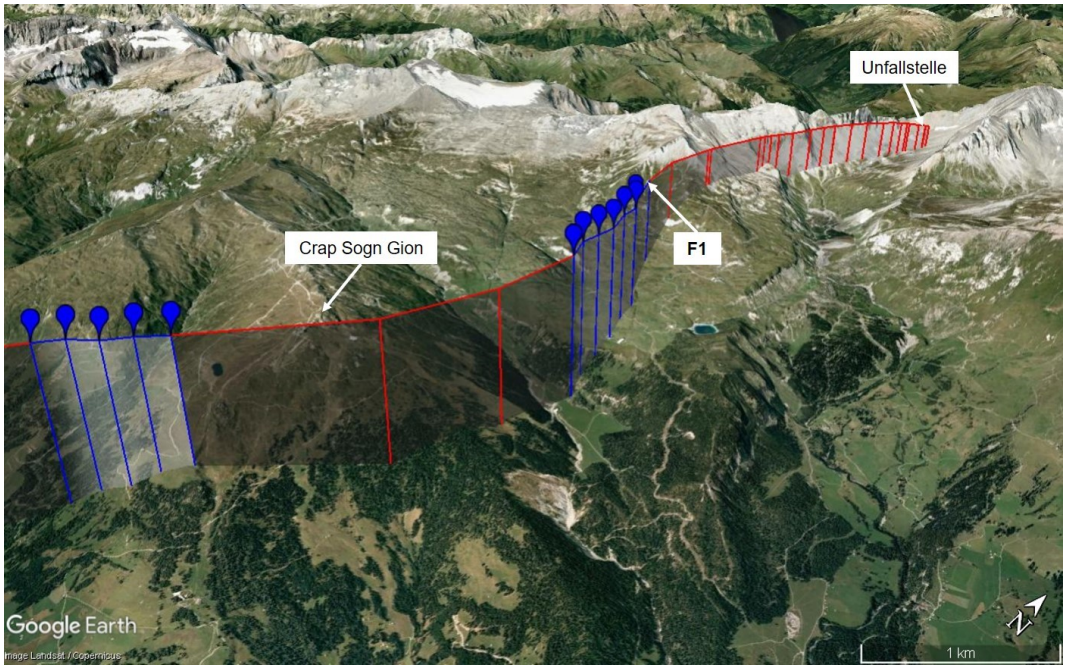

Abbildung 12: Rekonstruierter Flugweg der HB-HOT vom 4. August 2018, dargestellt in Google Earth. F1 bezeichnet den ersten fotogrammetrisch ermittelten Punkt.

1.11.1.3 Flugphase in der Geländekammer zum Segnespass

Zur Rekonstruktion des letzten Flugwegabschnittes vor der Unfallstelle wurden Bild- und Videomaterial von Augenzeugen, die das Flugzeug vom Boden aus beobachtet hatten, sowie zwei Videoaufnahmen von Passagieren verwendet. Zwi-

schen den beiden Videoaufzeichnungen aus dem Passagierraum der HB-HOT besteht eine zeitliche Lücke. Die erste Videoaufzeichnung endet kurz nach Punkt F101 und die zweite beginnt bei Punkt F102 (vgl. Abbildung 13).

In der Aufzeichnungslücke zwischen Punkt F101 und F102 wurden Radardaten vom Transponder der HB-HOT empfangen. Der Transponder mit Mode-S übermittelte nebst den anderen üblichen Daten zwei Mal zu bekannten Zeitpunkten präzise Daten des mit dem Transponder gekoppelten GPS-Gerätes. Übermittelt wurde der rechtweisende Kurs über Grund (*True Track* – TT) und die GPS-Geschwindigkeit gegenüber Grund (*Ground Speed* – GS). Die übermittelte Flughöhe wurde von der Drucksonde des Transponders generiert. Die GPS-Position selbst wurde nicht übermittelt. Eine geometrisch ungünstig gelegene Radarstation zeichnete die Position des Flugzeuges bei der Übermittlung dieser beiden Datenpakete auf. Die Position konnte aber aufgrund ihrer unzureichenden Genauigkeit nicht verwendet werden. Die übermittelten Werte bezüglich Zeit, TT und GS sind hingegen genau und wurden deshalb beigezogen. Es stehen somit in diesem Bereich zwei zusätzliche Datenpakete mit Zeitpunkt, TT und GS zur Verfügung:

- 14:55:34 UTC: TT = 353 Grad, GS = 74 kt
  (entsprechend 38.1 m/s bzw. 137.0 km/h);
- 14:55:39 UTC: TT = 354 Grad, GS = 76 kt
  (entsprechend 39.1 m/s bzw. 140.8 km/h).

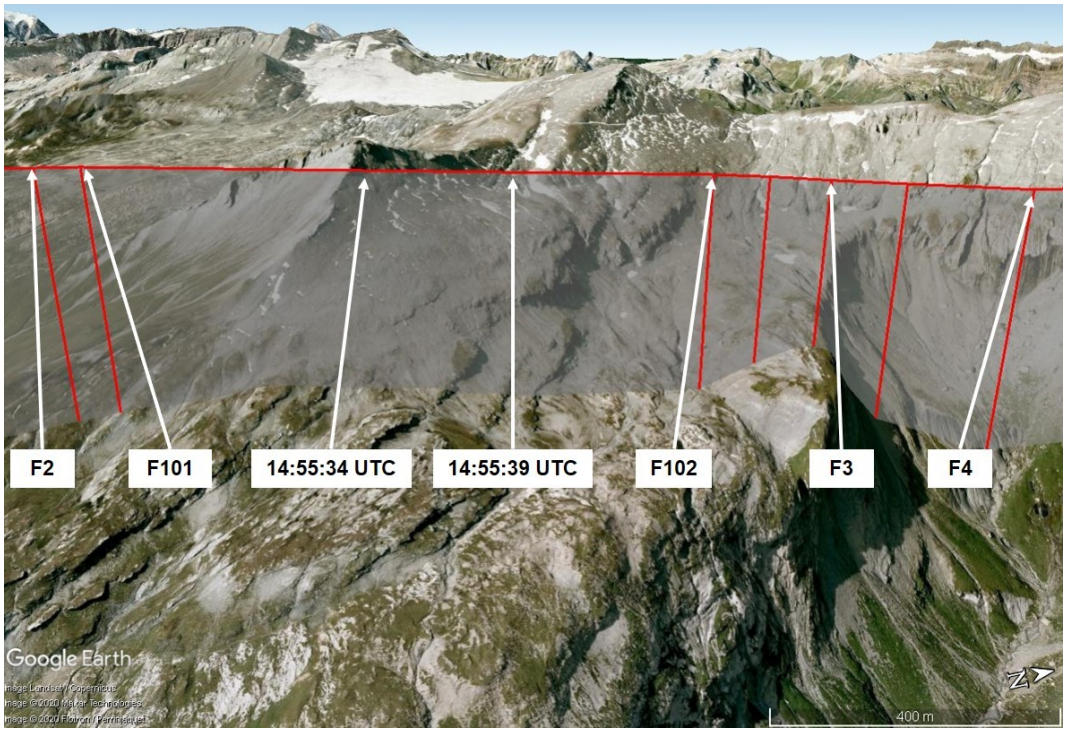

Abbildung 13: Fotogrammetrisch rekonstruierter Flugweg der HB-HOT vom 4. August 2018 (rot) zwischen Punkt F2 und F4, dargestellt in Google Earth. Die beiden zusätzlichen Datenpakete um 14:55:34 UTC und 14:55:39 UTC wurden vom Transponder übermittelt.

Eine dritte und letzte Übermittelung dieser GPS-Daten erfolgt später im Flugverlauf, sehr kurz vor dem Punkt F10, mit folgenden Werten:

- 14:56:27 UTC: TT = 43.4 Grad, GS = 92 kt
  (entsprechend 47.3 m/s bzw. 170.4 km/h).

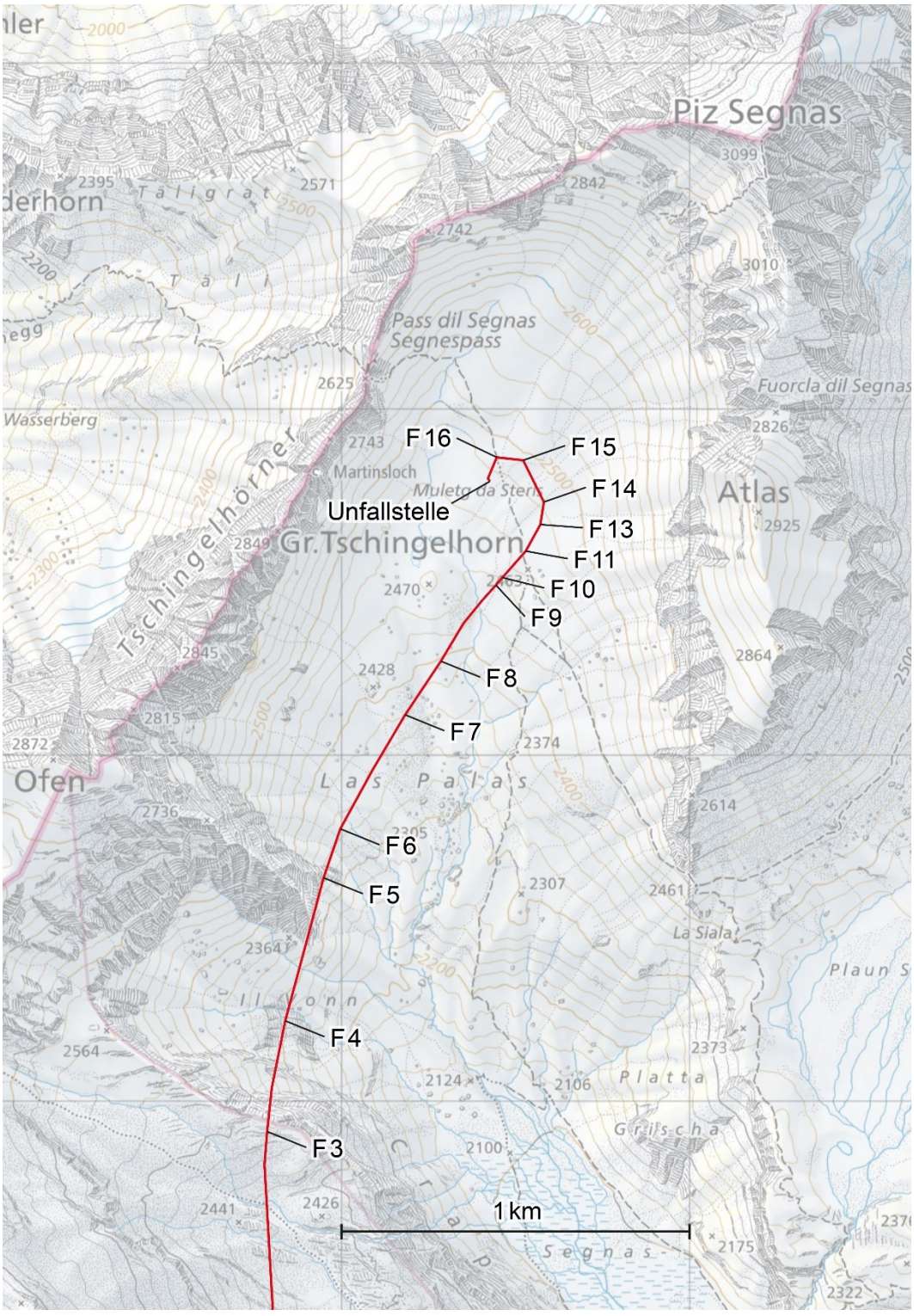

Abbildung 14: Rekonstruierter Flugweg der HB-HOT vom 4. August 2018 (rot) ab Punkt F3 bis zur Unfallstelle. Quelle der Basiskarte: Bundesamt für Landestopografie.

1.11.1.4 Letzte Flugphase

Ein Augenzeuge fotografierte die HB-HOT während der letzten Flugphase. Das hochaufgelöste Bild wurde fotogrammetrisch ausgewertet. Durch die Auswertung wurden die räumliche Position und die Fluglage bei Punkt F16 (vgl. Abbildung 7) sowie folgende Parameter ermittelt:

- Der Längslagewinkel betrug 68.0 Grad nach unten;
- Es lag eine Querlage von 50.8 Grad nach links vor;
- Die Flughöhe betrug 2583 m/M, was ungefähr 108 m über der Absturzstelle (2475 m/M) entspricht;
- Das Höhenruder zeigte zu diesem Zeitpunkt mit einem Ausschlag von ungefähr 13 Grad nach oben und befand sich damit im Vergleich zum möglichen Maximalausschlag in halb ausgeschlagener Position;
- Das Seitenruder war um 2 Grad nach rechts ausgeschlagen;
- Die Flügeldurchbiegung betrug 0.6 Grad nach oben in Bezug auf die Ausgangsstellung der Tragflügel des am Boden stehenden Flugzeuges. Ein Vergleichswert aus einer Aufnahme im unbeschleunigten Horizontalflug ergab eine Flügeldurchbiegung von etwa 1.2 Grad nach oben in Bezug auf die Ausgangsstellung.

Der Aufprall der HB-HOT wurde von einer Augenzeugin, die sich auf dem Segnespass befand, auf einer Videoaufnahme festgehalten. Die Videoaufnahme zeigt die letzten rund 0.4 Sekunden der HB-HOT vor dem Aufprall in Einzelbildern. Aus diesen Bildern wurden die räumlichen Positionen und Fluglagen F17 bis F19 (vgl. Abbildung 8) ermittelt. Der Aufprall erfolgte auf einer Höhe von 2475 m/M mit einem Längslagewinkel von 84.2 Grad nach unten und in einer Rollbewegung nach links. Die Geschwindigkeit beim Aufprall, die aus dieser Videosequenz ermittelt wurde, betrug rund 55.7 m/s, entsprechend 200 km/h. Aufgrund des Abstandes zwischen Aufnahmeort und Aufprallstelle wurden die letzten 1.6 Sekunden vor dem Aufprall akustisch aufgezeichnet.

1.11.2 Numerische Auswertungen

Die numerischen Auswertungen basieren auf den fotogrammetrisch ermittelten Daten, insbesondere der Positionen und Lagewinkel des Flugzeuges im Raum. Für die Auswertung der Flugphase des Unfallfluges beim Einflug in die Geländekammer des Segnespasses wurden zusätzliche Daten verwendet:

- Resultate der meteorologischen Auswertungen, insbesondere die Windgeschwindigkeiten und die Windrichtungen auf Flughöhe sowie die vertikalen Windgeschwindigkeiten;
- Auswertung (Sonagramme) von akustischen Daten einer Videoaufnahme, aufgenommen aus dem Flugzeuginnenraum, durch die französische Sicherheitsuntersuchungsstelle *Bureau d'Enquètes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile* (BEA);
- Visuelle Analyse der Querruderausschläge durch die SUST auf Basis einer Videoaufnahme, aufgenommen aus dem Flugzeuginnenraum.

Die numerische Auswertung der insgesamt 29 ermittelten Datenpunkte der Flugphase des Unfallfluges beim Einflug in die Geländekammer des Segnespasses basiert auf diesen vier Datenquellen. Daraus wurden die Abbildung 15 bis Abbildung 20 erstellt, welche die wesentlichen Parameter in Funktion des Flugweges und der Zeit darstellen.

In Abbildung 15 sind Flughöhe, Längslagewinkel (*pitch*) sowie der Flugbahnwinkel (*flight path angle*) und die Differenz zwischen diesen Winkeln dargestellt.

Abbildung 15: Flughöhe (*altitude)*, Längslagewinkel (*pitch)* und Flugbahnwinkel (*flight path angle* – FPA) in Funktion des horizontalen, zurückgelegten Weges. Auf der linken Ordinate ist der Wert der Flughöhe, auf der rechten Ordinate sind die Werte der Winkelgrössen angegeben.

In Abbildung 16 sind die Parameter anhand der Laufzeit einer Videoquelle dargestellt. Der Punkt F102 ist der erste, mittels dieser Videoquelle ermittelte Punkt. Er ist in Abbildung 15 bei einer horizontalen Wegstrecke von 2243 m dargestellt. Zwischen den nicht verbundenen Punkten in Abbildung 16 befinden sich weitere Punkte aus anderen Datenquellen (zum Beispiel F6 zwischen den Punkten F5 und F106), denen keine Laufzeit zugeordnet werden kann.

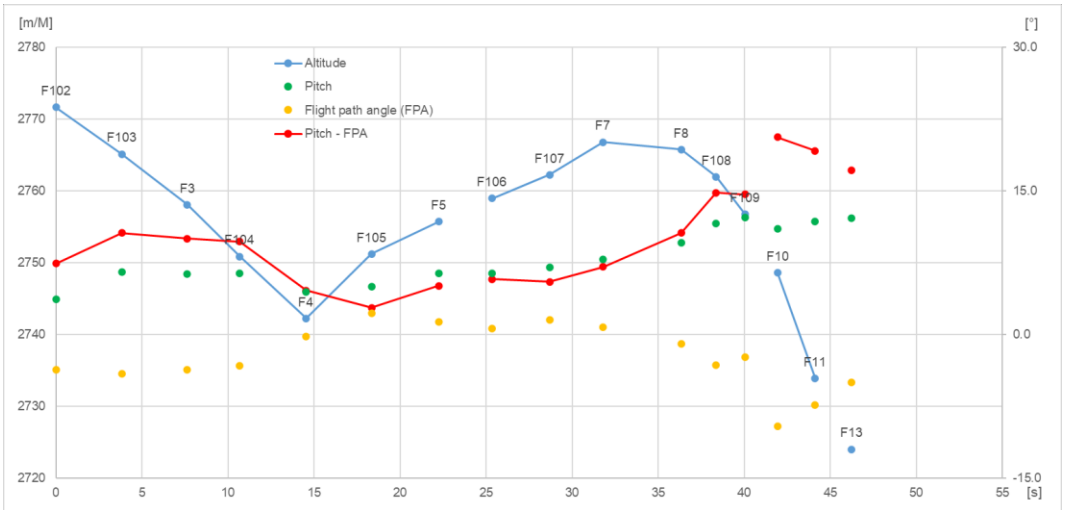

Abbildung 16: *Altitude*, *pitch* und *flight path angle* in Funktion der Videolaufzeit. Auf der linken Ordinate ist der Wert der Flughöhe, auf der rechten Ordinate sind die Werte der Winkelgrössen angegeben.

Aus Abbildung 17 geht der errechnete Verlauf der Geschwindigkeit des Flugzeuges über Grund (*Ground Speed* – GS) hervor. Dabei wurden auch die drei empfangenen Werte der GS aus dem Transponder der HB-HOT berücksichtigt.

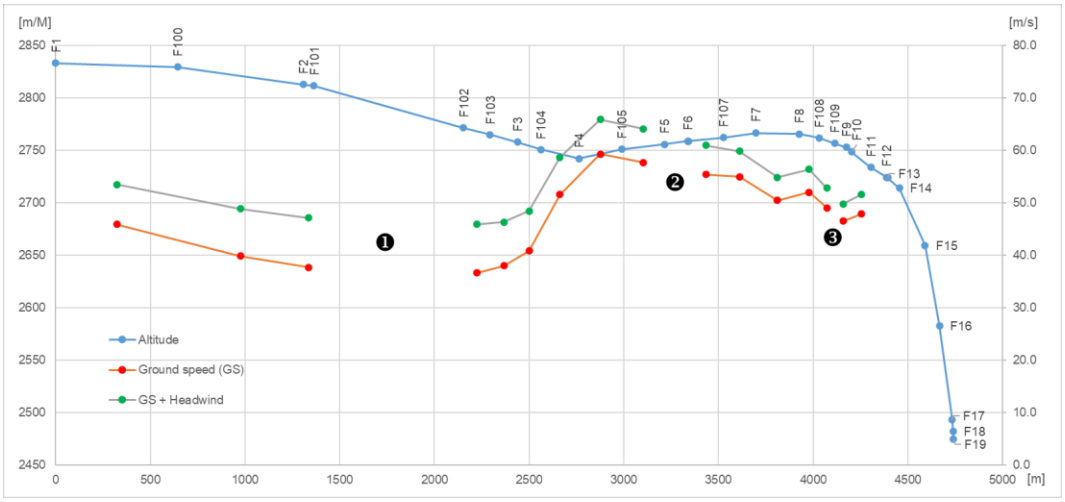

Abbildung 17: *Altitude*, errechnete *ground speed* und *ground speed + headwind* in Funktion der horizontalen, kumulierten Distanz.

Im Bereich ❶ (vgl. Abbildung 17), in dem die Kurvenverläufe der Geschwindigkeit über Grund unterbrochen sind, konnte keine Zeitdifferenz und somit auch keine *ground speed* berechnet werden, da die Datenpunkte aufgrund von zwei verschiedenen, nicht zusammenhängenden Videoquellen ermittelt wurden. Bei den weiteren Verbindungslücken (Bereiche ❷ und ❸) existieren nicht dargestellte Punkte aus anderen Datenquellen, denen keine Laufzeit zugeordnet werden kann.

In Abbildung 18 ist der Verlauf der Drehzahlen der drei Motoren anhand der Videolaufzeit dargestellt. Es konnte keine Zuordnung der Drehzahlen der Motoren A, B und C (*Engine* A, B, C) zur Position der Motoren (Links, Mitte, Rechts) gemacht werden.

Abbildung 19 zeigt neben *pitch* und FPA auch die Steig- resp. Sinkgeschwindigkeit anhand der Videolaufzeit.

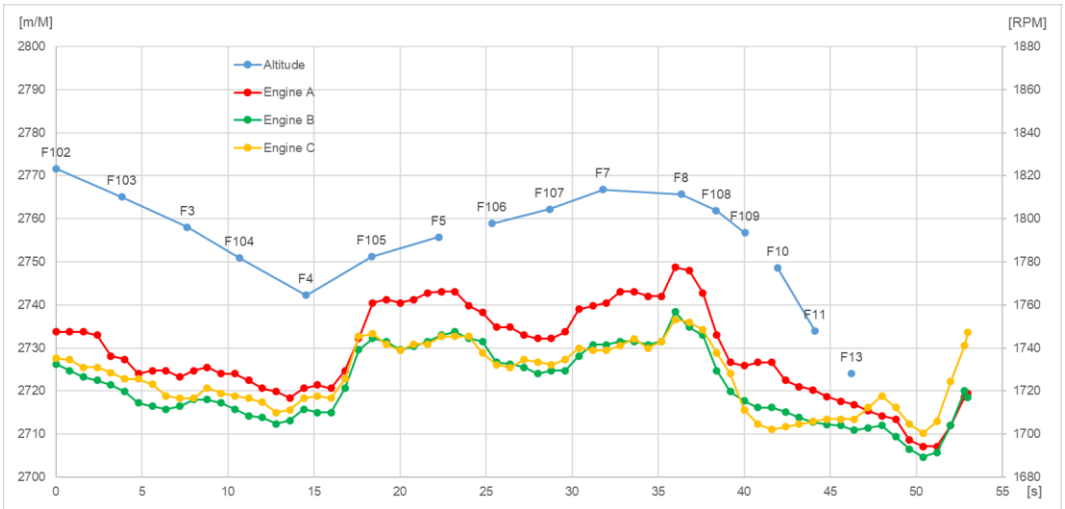

Abbildung 18: Flughöhe (*altitude)* und Drehzahl der drei Motoren in Funktion der Videolaufzeit.

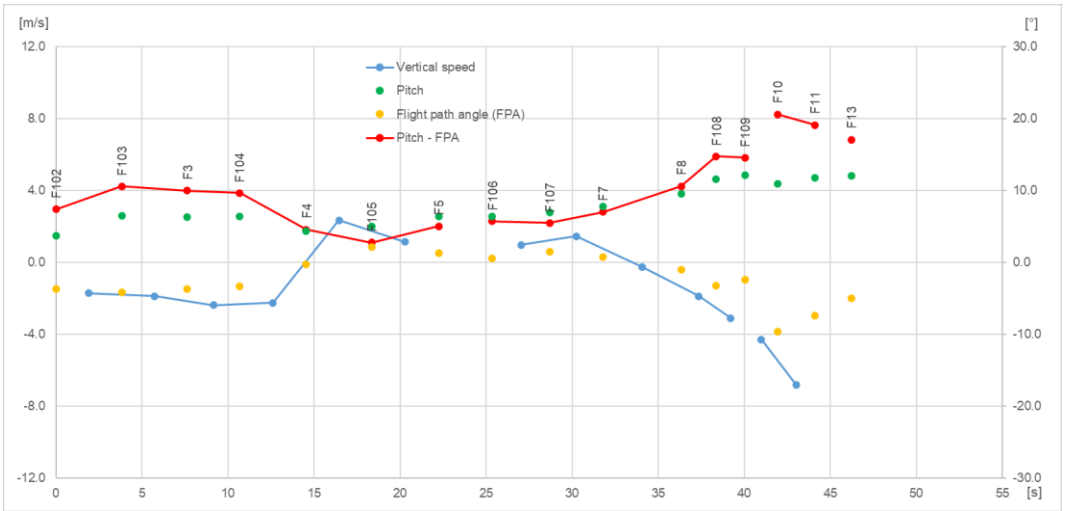

Abbildung 19: *Vertical speed, pitch* und *flight path angle* in Funktion der Videolaufzeit.

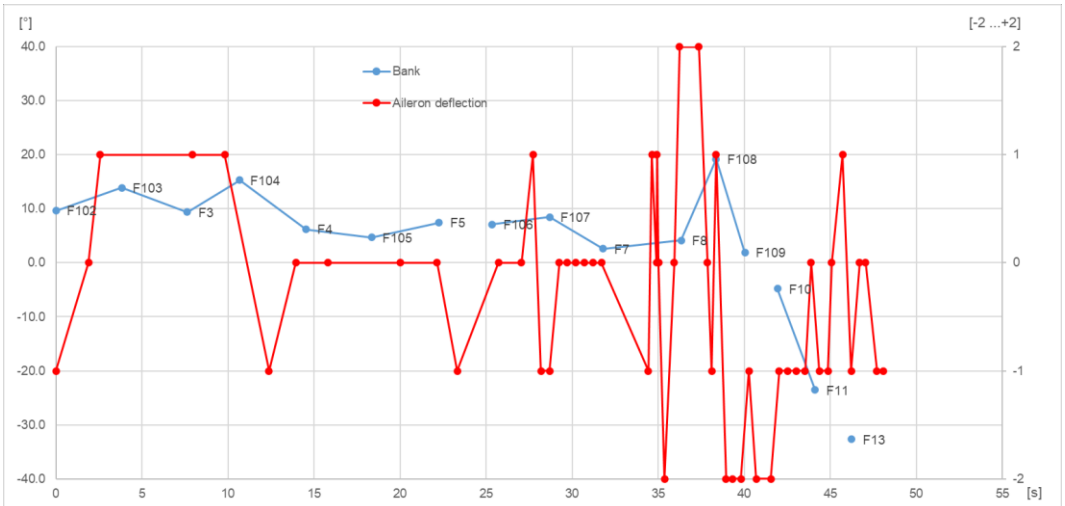

Abbildung 20: Querlage *(bank)* und Querruderausschlag (*aileron deflection*) in Funktion der Videolaufzeit. Positive Gradangaben auf der linken Ordinate bedeuten eine Querlage nach rechts bzw. Querruderausschläge für eine Rechtskurve. Die Querlagewinkel (*bank angle*) wurden fotogrammetrisch bestimmt.

Die Querruderausschläge wurden auf Basis einer Videoaufnahme, aufgenommen aus dem Flugzeuginnenraum, qualitativ mit Werten von - 2, - 1, 0, + 1 und + 2 bewertet (Abbildung 20, rechte Ordinate). Positive Werte bedeuten einen Querruderausschlag für eine Rollbewegung in Flugrichtung gesehen im Urzeigersinn, d.h. für eine Rechtskurve. Negative Werte bedeuten sinngemäss Querruderausschläge für eine Linkskurve und Nullwerte eine neutrale Querruderlage.

1.11.3 Fehlende Datenaufzeichnungsgeräte

Das verunfallte historische Verkehrsflugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, war mit keinerlei Aufzeichnungsgeräten ausgerüstet. Ein Flugdatenschreiber (*Flight Data Recorder* – FDR) war aufgrund des Datums der Erstausstellung des Lufttüchtigkeitszeugnisses nicht gefordert. Eine Tonaufzeichnungsanlage für das Cockpit (*Cockpit Voice Recorder* – CVR*)* war für den gewerblichen Luftverkehrsbetrieb eigentlich vorgeschrieben. Das Bundesamt für Zivilluftfahrt hatte allerdings eine Ausnahmebewilligung erteilt, so dass das Flugbetriebsunternehmen auf den Einbau eines solchen Gerätes verzichtete (vgl. hierzu Anlage A1.6).

Damit fehlte im vorliegend untersuchten Unfall ein aufschlagresistenter Flugdatenschreiber, der bei Zwischenfällen mit Grossflugzeugen üblicherweise unter anderem die Rekonstruktion des Flugweges, eine Bestimmung der Lage des Flugzeuges im Raum und gegenüber der Luftströmung sowie der Geschwindigkeit des Luftfahrzeuges gegenüber dem Boden bzw. der Luft erlaubt. Auch ein CVR war nicht vorhanden. Ein solches Gerät hätte Angaben zu den Gesprächen der Besatzung, der Art ihrer Zusammenarbeit und allenfalls Hinweise auf die Art der Probleme, die schliesslich zum Unfall geführt haben, liefern können.

Dies hatte zur Folge, dass sich die Rekonstruktion des Flugweges und des Unfallhergangs sehr aufwändig gestaltete und langwierig war. Ausserdem konnten für die Unfallabklärung wichtige Grundlagen, insbesondere die Gespräche im Cockpit, die möglicherweise Rückschlüsse auf entscheidende Gedankengänge der Piloten beim Einflug in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas zugelassen hätten, auch trotz dieser aufwändigen Rekonstruktionsverfahren nicht ermittelt werden.

In der Vergangenheit konnten Unfälle im gewerblichen Flugbetrieb oftmals in Ermangelung aufgezeichneter Daten nicht aufgeklärt werden. Infolgedessen wurden von Sicherheitsuntersuchungsstellen verschiedentlich Empfehlungen hinsichtlich der Ausrüstung mit Aufzeichnungsgeräten aller Art ausgesprochen.

TSB Recommendation A91-13 (1991): "The Department of Transport expedite legislation for upgrading the flight recorder requirements for Canadian-registered aircraft."

[Deutsche Übersetzung: Das Verkehrsministerium sollte die Gesetzgebung zur Verbesserung der Anforderungen an die Flugschreiber für in Kanada registrierte Luftfahrzeuge vorantreiben.]

AAIB[27] 2005-101 (2005): "The European Aviation Safety Agency[28] should promote the safety benefits of fitting, as a minimum, CVR equipment to all aircraft operated for the purpose of commercial air transport, regardless of weight or age."

[Deutsche Übersetzung: Die EASA sollte die Sicherheitsvorteile einer CVR-Ausrüstung als Minimum für alle Luftfahrzeuge, die zum Zweck der gewerblichen Luftfahrt betrieben werden, unabhängig von deren Gewicht und Alter fördern.]

[27] AAIB: *Air Accidents Investigation Branch* des Vereinigten Königreichs (UK)

[28] *European Union Aviation Safety Agency* (EASA), Europäische Agentur für Flugsicherheit, wurde 2018 *in European Union Aviation Safety Agency* umbenannt

NTSB[29] *"Safety Recommendation A-06-017 (2006): to the Federal Aviation Administration: Require all rotorcraft operating under 14 Code of Federal Regulations Parts 91 and 135 with a transport-category certification to be equipped with a cockpit voice recorder (CVR) and a flight data recorder (FDR). For those transport-category rotorcraft manufactured before October 11, 1991, require a CVR and an FDR or an onboard cockpit image recorder with the capability of recording cockpit audio, crew communications, and aircraft parametric data."*

[Deutsche Übersetzung: Die Federal Aviation Administration soll verlangen, dass alle Drehflügler, die nach 14 Code der Federal Regulations Parts 91 und 135 mit einer Zulassung in der Transportkategorie betrieben werden, mit einem *Cockpit Voice Recorder* (CVR) und einem *Flight Data Recorder* (FDR) ausgestattet sein müssen. Die vor dem 11. Oktober 1991 hergestellten Drehflügler der besagten Transportkategorie benötigen einen CVR und einen FDR oder ein bordeigenes Cockpit-Bildaufzeichnungsgerät mit der Fähigkeit, Töne im Cockpit, Gespräche der Besatzung und Luftfahrzeug-Parameter aufzuzeichnen.]

TSB[30]*Recommendation A13-01 (2013): "The Department of Transport should work with industry to remove obstacles to and develop recommended practices for the implementation of flight data monitoring and the installation of lightweight flight recording systems by commercial operators not currently required to carry these systems."*

[Deutsche Übersetzung: Das Verkehrsministerium sollte zusammen mit der Industrie Hindernisse beseitigen und empfohlene Praktiken für die Einführung der Flugdatenüberwachung und die Installation von leichten Flugaufzeichnungssystemen durch gewerbliche Betreiber entwickeln, denen es gegenwärtig nicht vorgeschrieben ist, solche Systeme mitzuführen.]

Die EASA veröffentlichte 2017 im Rahmen des Gesetzgebungsverfahrens (RMT[31].0271 (ehemals MDM[32].073(a)) und RMT.0272 (ehemals MDM.073(b))) die *Notice of Proposed Amendment* (NPA) 2017-03 *In-flight recording for light aircraft*.

"This Notice of Proposed Amendment (NPA) addresses safety and regulatory harmonisation issues related to the need of in-flight recordings for accident investigation and accident prevention purposes. 12 safety recommendations were addressed to the European Aviation Safety Agency (EASA) by 7 safety investigation authorities, recommending an in-flight recording capability for light aircraft models which are outside the scope of the current flight recorder carriage requirements. In addition, new Standards (recently introduced in ICAO Annex 6) require the carriage of lightweight flight recorders for light aeroplanes and light helicopters. […] This NPA proposes to mandate the carriage of lightweight flight recorders for some categories of light aeroplanes and light helicopters when they are commercially operated and manufactured 3 years after the date of application of the amending regulation. In addition, this NPA proposes to promote the voluntary installation of in-flight recording equipment for all other light aeroplanes and light helicopters and for all balloons. The proposed changes are expected to increase safety with limited economic and social impacts."

[Deutsche Übersetzung: Diese Mitteilung über den Änderungsvorschlag befasst sich mit Sicherheits- und Harmonisierungsfragen im Zusammenhang mit der Notwendigkeit von Aufzeichnungen während des Fluges für die Untersuchung von

[29] NTSB: *National Transport Safety Board* der Vereinigten Staaten von Amerika

[30] TSB: *Transportation Safety Board of Canada*

[31] RMT: *Rulemaking tasks*

[32] MDM: *Multi-Disciplinary Measures*

Unfällen und die Unfallverhütung. 12 Sicherheitsempfehlungen von 7 Sicherheitsuntersuchungsbehörden wurden der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) übermittelt, die eine Aufzeichnungsmöglichkeit während des Fluges für leichte Luftfahrzeugmuster empfehlen, die ausserhalb des Anwendungsbereichs der aktuellen Anforderungen an den Einbau von Flugschreibern liegen. Darüber hinaus verlangen neue Normen (die kürzlich in ICAO-Anhang 6 eingeführt wurden) den Einbau von leichten Flugschreibern für Leichtflugzeuge und leichte Hubschrauber. […] Diese NPA schlägt vor, den Einbau von leichten Flugaufzeichnungsgeräten für einige Kategorien von Leichtflugzeugen und leichten Hubschraubern verpflichtend vorzuschreiben, wenn sie gewerblich betrieben und drei Jahre nach der Inkraftsetzung der Änderungsverordnung hergestellt werden. Darüber hinaus schlägt diese NPA vor, die freiwillige Installation von Aufzeichnungsgeräten während des Fluges für alle anderen leichten Flugzeuge und leichten Hubschrauber sowie für alle Ballone zu fördern. Es wird erwartet, dass die vorgeschlagenen Änderungen die Sicherheit erhöhen und dabei nur begrenzte wirtschaftliche und soziale Auswirkungen nach sich ziehen werden.]

Heutzutage existieren die nötigen technischen Lösungen und daher sollten auch aus Sicht der SUST die luftrechtlichen Vorgaben für die Ausrüstung mit Flugdatenschreibern, *Cockpit Voice Recorder* oder *Cockpit Image Recording System* auf historische Verkehrsflugzeuge angewendet werden, was zum Zeitpunkt des Unfalls nicht der Fall war. Eine Ausnahmeregelung, wie sie im vorliegenden Fall bestand, stellt keine sicherheitsbewusste Lösung dar.

1.11.4 Sicherheitsempfehlung

Aufgrund der bereits vielfach ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen und der geplanten luftrechtlichen Änderungen bezüglich der Ausrüstungsverpflichtungen mit Flugschreibern sieht die SUST von einer weiteren Sicherheitsempfehlung ab, die in eine vergleichbare Richtung zielen würde.

1.12 Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle

1.12.1 Unfallstelle

Die Unfallstelle lag in einer Geländemulde etwa 1.2 km südwestlich des Piz Segnas im Kanton Graubünden. Ungefähr 500 m westlich der Unfallstelle befindet sich das Martinsloch, ein natürlicher Durchbruch des Gebirgskamms der Tschingelhörner, südöstlich von Elm (GL).

1.12.2 Aufprall

Alle Spuren auf der Unfallstelle zeigten, dass der Aufprall des Flugzeuges auf dem Gelände in einer senkrechten Fluglage und mit annähernd senkrechter Flugbahn erfolgt war. Diese Spuren wurden durch eine Videoaufnahme bestätigt.

1.12.3 Wrack

Alle wesentlichen Teile des Flugzeuges konnten bereits auf der Unfallstelle identifiziert werden. Es wurden zahlreiche, teils schwere Gepäckstücke vorgefunden. Die Wrackteile wurden gereinigt und anschliessend nach Baugruppen geordnet und eingehend untersucht. Alle weiteren Angaben hierzu finden sich in Anlage A1.12.

1.13 Medizinische und pathologische Angaben

Beide Piloten erlitten beim Aufprall unmittelbar tödliche Verletzungen.

Die Leichen der Piloten A und B wurden einer rechtsmedizinischen Untersuchung unterzogen. Die durchgeführten forensisch-toxikologischen Untersuchungen ergaben keine relevanten Befunde. Insbesondere ergaben sich keine Hinweise für eine Beeinträchtigung der Piloten durch Alkohol, Arzneistoffe, Betäubungsmittel oder Kohlenmonoxid.

Die medizinische Vorgeschichte der beiden Piloten war unauffällig. Gemäss Angaben der Angehörigen der Piloten wirkten diese vor den Flügen der Erlebnisreise gesund.

1.14 Feuer

Es brach kein Feuer aus, obwohl beträchtliche Treibstoffmengen in den Tanks vorhanden waren und beim Aufprall freigesetzt wurden.

1.15 Überlebensaspekte

1.15.1 Allgemeines

Es war nicht möglich, diesen Unfall zu überleben.

1.15.2 Suche und Rettung

Der Unfall wurde von mehreren Personen beobachtet, die unmittelbar nach dem Aufprall des Flugzeuges die Polizei alarmierten und an die Unfallstelle eilten, um Erste Hilfe zu leisten. Bereits wenige Minuten nach dem Unfall waren mehrere Rettungshubschrauber vor Ort. Anschliessend trafen die Alpine Rettung, die Feuerwehr und Polizei auf der Unfallstelle ein.

Der im Flugzeug eingebaute Notsender (*Emergency Locator Beacon Aircraft* – ELBA) aktivierte sich und sendete ein peilbares Signal aus.

1.16 Versuche und Forschungsergebnisse

Die spurenkundlichen Untersuchungen an den Instrumenten und Bedienungselementen im Cockpit des verunfallten Flugzeuges erbrachten folgende wesentliche Werte zum Zeitpunkt des Aufpralls:

- Der noch auswertbare Fahrtmesser zeigte eine Geschwindigkeit im Bereich von 202 km/h an.
- Die Drehzahlmesser der drei Motoren zeigten Drehzahlen zwischen 1800 und 1900 Umdrehungen pro Minute an.
- Die Vollgasbegrenzung der drei Normalgashebel war eingeschaltet. Für die technische Beschreibung vgl. Anlage A1.6. Die Resultate der spurenkundlichen Untersuchung finden sich in Anlage A1.16.

Aufgrund der festgestellten Mängel am Wrack und um insbesondere die Festigkeit und das Alterungsverhalten der im Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, verwendeten Werkstoffe beurteilen zu können, wurden umfangreiche metallkundliche und korrosionstechnische Abklärungen getroffen. Dabei konnten u.a. folgende Feststellungen gemacht werden:

- An Strukturteilen des Tragflügels und des Rumpfes wurden erhebliche Korrosionsschäden festgestellt;
- Ein Unterholm des linken Tragflügels wies Schwingbrüche auf;
- Bei dem auf interkristalline Korrosion empfindlichen Material war der Oberflächenschutz ungenügend oder fehlte gänzlich.

Des Weiteren hat eine Simulation des Flugverlaufs gezeigt, dass es unter realistischen Annahmen der Flugbesatzung nach dem Beginn der letzten Linkskurve nicht mehr möglich gewesen wäre, die Kollision mit dem Gelände zu verhindern.

Die angewandten Methoden und die detaillierten Ergebnisse sind in Anlage A1.16 beschrieben.

1.17 Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung

1.17.1 Flugbetriebsunternehmen

1.17.1.1 Organisation

Der Verein der Freunde der Schweizerischen Luftwaffe (VFL) war ein Verein nach Schweizer Recht. Der VFL führte die Ju-Air, indem der Vereinsvorstand einen Geschäftsleiter ernannte. Folglich war Ju-Air Teil des Vereins der Freunde der Schweizerischen Luftwaffe. Aus diesem Grund waren die offiziellen Zertifikate der Aufsichtsbehörde jeweils auf den VFL ausgestellt.

Weitere Angaben zur Organisation und den betrieblichen Verfahren des Flugbetriebsunternehmens finden sich in Anlage A1.17.

1.17.1.2 Voraussetzungen für die Geschäftstätigkeit

Für gewerblichen Luftverkehrsbetrieb (*Commercial Air Transport* – CAT), wie ihn Ju-Air unternahm, müssen die europäischen Anforderungen insbesondere zu den folgenden Themen und Gebieten erfüllt sein:

- Luftverkehrsbetreiberzeugnis und Lufttüchtigkeitszeugnis;
- Sicherheitsmanagementsystem und Meldepflichten;
- System zur Überwachung der einschlägigen Anforderungen;
- Flugbesatzung;
- Startrollstrecke, Mindeststeigrate und Mindestflughöhen;
- Instrumente und Ausrüstung der Luftfahrzeuge;
- Betriebshandbuch.

Die Umsetzung dieser Anforderungen bei Ju-Air werden in den folgenden Kapiteln 1.17.1.3 bis 1.17.1.9 erläutert.

1.17.1.3 Luftverkehrsbetreiberzeugnis und Lufttüchtigkeitszeugnis

Der Betreiber muss über ein Luftverkehrsbetreiberzeugnis (*Air Operator Certificate* – AOC) verfügen. Für ein Luftverkehrsbetreiberzeugnis wiederum ist es Voraussetzung, dass die betriebenen Luftfahrzeuge über ein Lufttüchtigkeitszeugnis (*Certificate of Airworthiness* – CofA) gemäss den europäischen Anforderungen verfügen.

Die Ju-52-Flugzeuge von Ju-Air verfügten über keine Lufttüchtigkeitszeugnisse gemäss den europäischen Anforderungen. Um dennoch ein Luftverkehrsbetreiberzeugnis ausstellen zu können, berief sich das BAZL auf eine Ausnahmeregelung der Europäischen Kommission (vgl. Anlage A1.6). Diese Ausnahmeregelung machte im Wesentlichen zur Bedingung, dass die Ju-52-Flugzeuge über ein Lufttüchtigkeitszeugnis nach ICAO-Anhang 8 verfügen und durch einen gemäss den europäischen Vorgaben zertifizierten Instandhaltungsbetrieb betreut werden (vgl. Anlage A1.17). Nach Auffassung des BAZL umfasste die Ausnahmeregelung eine Abweichung von allen bauartbedingten Unvereinbarkeiten mit den operationellen Regelwerken.

Die Ju-52-Flugzeuge von Ju-Air verfügten über ein vom BAZL ausgestelltes Lufttüchtigkeitszeugnis gemäss dem Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944. Nach Angaben des BAZL war damit das Flugzeug gemäss Anhang 8 dieses Abkommens zugelassen, entsprach den Anforderungen dieses Anhangs tatsächlich jedoch nicht.

Die Ju-52-Flugzeuge von Ju-Air wurden durch vom BAZL gemäss den europäischen Anforderungen zertifizierte Instandhaltungsbetriebe betreut. Diese Instandhaltungsbetriebe erfüllten diese Anforderungen tatsächlich jedoch nicht.

1.17.1.4 Sicherheitsmanagementsystem und Meldepflichten

Das von Ju-Air verwendete Sicherheitsmanagementsystem (*Safety Management System* – SMS) umfasste die für ein gewerbliches Flugbetriebsunternehmen üblichen Aspekte und wurde in dieser Form vom Bundesamt für Zivilluftfahrt genehmigt. Das SMS sah unter anderem vor, dass alle wesentlichen Gefahren des Flugbetriebs systematisch zu erfassen und in ihrer Bedeutung zu analysieren seien. Das Flugbetriebsunternehmen führte seit dem Jahr 2012 bis zum Unfallzeitpunkt 22 Risikoanalysen durch. Eine Analyse der spezifischen Risiken des Sichtfluges oder des Fliegens im Gebirge erfolgte durch Ju-Air nie. Auch das Bundesamt für Zivilluftfahrt forderte keine diesbezügliche Risikobeurteilung, weil es den Betrieb der Ju-Air als Standard-Sichtflugbetrieb betrachtete (vgl. Kapitel A1.17.7.4). Auch für den Standard-Sichtflugbetrieb lag beim BAZL keine Risikobeurteilung vor.

Um die Wirksamkeit und die Anwendung des SMS durch das Flugbetriebsunternehmen beurteilen zu können, wurden im Rahmen dieser Sicherheitsuntersuchung mehr als 150 sicherheitsrelevante Ereignisse im Flugbetrieb von Ju-Air erhoben. Diese Ereignisse traten zwischen dem Jahr 2000 und der vorläufigen Betriebseinstellung von Ju-Air auf. Auch Meldungen aus der Bevölkerung oder Reklamationen, die es beispielsweise in den Jahren vor dem Unfall gegeben hatte, weil Flugzeuge der Ju-Air Wildtierschutzgebiete in tiefer Höhe überquert hatten, wurden dabei untersucht. Anschliessend wurde abgeklärt, wie diese Zwischenfälle an die zuständigen Behörden gemeldet und betriebsintern behandelt worden waren. Dabei konnte unter anderem festgestellt werden, dass gesetzliche Meldepflichten nicht erfüllt wurden und intern nie eine vertiefte Analyse der Ereignisse erfolgte. Diese Zwischenfälle zeigten unter anderem auch, dass selbst die erfahrenen und hochqualifizierten Flugbesatzungen von Ju-Air Fehler im Bereich der fliegerischen Grundlagen begingen. So traten beispielsweise in den kontrollierten Lufträumen um Militärflugplätze herum wiederholt Luftraumverletzungen durch Flugzeuge der Ju-Air auf. Diese Mängel wurden von der Aufsichtsbehörde zwar in Einzelfällen erkannt, deren Umfang und systematische Muster blieben aber unentdeckt. Wirksame Korrekturmassnahmen wurden durch die Aufsichtsbehörde nicht gefordert.

Im Gegensatz zu anderen Funktionen in Flugbetriebsunternehmen gibt das Regelwerk für die Verantwortlichen für die Sicherheit (*Safety Manager*) und für das Sicherstellen einer regelkonformen Anwendung der anwendbaren Regeln (*Compliance Monitoring Manager*) keine Zulassungskriterien vor. Personen, die diese Funktionen ausüben sollen, müssen auch keinerlei Befähigungsüberprüfung (*Assessment)* durchlaufen. Lediglich für die Funktion *Safety Manager* schlägt die EASA in ihren Handlungsempfehlungen gewisse Anforderungen vor.

Detaillierte Angaben zum Sicherheitsmanagementsystem des Flugbetriebsunternehmens und dessen Funktionsweise finden sich in Anlage A1.17.

1.17.1.5 System zur Überwachung der Einhaltung der einschlägigen Anforderungen

Ju-Air-intern bestand ein System zur Überprüfung der Geschäftstätigkeiten bezüglich Konformität mit den gesetzlichen Normen und den selbst definierten Prozessen (*Compliance Monitoring*). Im Rahmen dieses *Compliance Monitoring* wurden gesetzliche Normen, die für Ju-Air tatsächlich anwendbar waren, für nicht anwendbar erklärt. Ausserdem wurde mancherorts Regelkonformität deklariert, wo tatsächlich keine Regelkonformität herrschte. Teilweise wurde lediglich das Vorhandensein von Prozessbeschrieben überprüft, die tatsächliche Umsetzung dieser Prozesse hingegen nicht.

Weitere Angaben betreffend das System zur internen Überwachung der Regelkonformität finden sich in Anlage A1.17.

1.17.1.6 Flugbesatzung

Die Ausbildung zum Erlangen der Musterberechtigung (*Type Rating* – TR) für die Junkers Ju 52/3m g4e bestand aus einem theoretischen Teil und einem Flugtraining. Dabei wurde unter anderem auch das Fliegen von Steilkurven geübt und die Flugbesatzungen wurden mit dem Verhalten des Flugzeuges bei der Annäherung und beim Eintritt eines Strömungsabrisses bei geringer Geschwindigkeit und unbeschleunigtem Geradeausflug vertraut gemacht. Bei diesen Ausbildungsteilen befand sich jeweils nur die Flugbesatzung an Bord.

Im Rahmen der jährlichen Befähigungsüberprüfungen wurde der Umgang mit einem Strömungsabriss nicht geübt.

Weitere Angaben zur Ausbildung der Piloten finden sich in Anlage A1.5.

1.17.1.7 Startrollstrecke, Mindeststeigrate und Mindestflughöhe

1.17.1.7.1 Start

Für dreimotorige Flugzeuge der Flugleistungsklasse C ohne Startstreckenangaben im Luftfahrzeug-Flughandbuch bei Triebwerkausfall gilt nach der europäischen Verordnung 965/2012 im gewerblichen Luftverkehrsbetrieb: Um für den Start das geforderte Sicherheitsniveau zu erreichen, darf die vom Flugzeug gemäss Luftfahrzeug-Flughandbuch benötigte Strecke vom Beginn des Startlaufs bis zum Erreichen einer Höhe von 50 Fuss über der Startfläche multipliziert mit dem Faktor 1.25 die verfügbare Startrollstrecke nicht überschreiten.

Die Ju-52-Flugzeuge von Ju-Air sind dreimotorige Flugzeuge der Flugleistungsklasse C. Die gemäss dem Luftfahrzeug-Flughandbuch benötigte Strecke vom Beginn des Startlaufs bis zum Erreichen von 15 Meter (rund 50 Fuss) über der Startfläche betrug für die gegebene (rekonstruierte) Abflugmasse und die Umgebungstemperatur rund 700 m, mit dem Faktor 1.25 multipliziert 875 m. Ermittelt mit der Abflugmasse gemäss Flugdurchführungsplan der Piloten hätten diese Strecken 760 m respektive 950 m betragen.

Im Betriebshandbuch von Ju-Air fand die obengenannte Regel mit dem Faktor 1.25 keine Erwähnung.

Angaben zu der auf dem Flugplatz Locarno verfügbaren Startrollstrecke finden sich in Kapitel 1.10. Weitere Angaben zur Berechnung der minimal erforderlichen Startrollstrecke sowie systemische Untersuchungen in diesem Zusammenhang finden sich in Anlage A1.17.

1.17.1.7.2 Reiseflug

Um für den Reiseflug das geforderte Sicherheitsniveau zu erreichen, müssen Flugzeuge der Flugleistungsklasse C für gewerblichen Luftverkehrsbetrieb an jedem

Punkt der Flugstrecke eine Steigrate von mindestens 300 ft/min erreichen können. Ju-52-Flugzeuge sind Flugzeuge der Flugleistungsklasse C. Schätzungen von Ju-Air gehen für Ju-52-Flugzeuge auf einer Flughöhe von 3000 m/M[33] bei sommerlichen Temperaturen von einer maximalen Steigrate zwischen 100 und höchstens 300 ft/min aus. Entsprechende Nachweise oder Messdaten sind nicht vorhanden.

Zusätzlich zum vertikalen und horizontalen Mindestabstand gegenüber Gelände und Hindernissen, wie er für nichtgewerblichen Sichtflug gilt, geht aus den Regeln für gewerblichen Luftverkehrsbetrieb der europäischen Verordnung 965/2012 folgende Anforderung hervor, um das geforderte Sicherheitsniveau zu erreichen: Flugzeuge der Flugleistungsklasse C müssen bei einem Triebwerkausfall – und wenn die daraus resultierende Steigrate negativ ist – alle Hindernisse innerhalb eines seitlichen Abstands von 9.3 km beiderseits des beabsichtigten Flugwegs mit einem senkrechten Abstand von 2000 ft, entsprechend rund 610 m, überfliegen können. Ab rund 2500 m/M ist die Steigrate einer Ju 52 bei einem Triebwerkausfall negativ bzw. das Flugzeug beginnt zwangsläufig zu sinken. Da jederzeit mit einem Triebwerkausfall gerechnet werden muss, folgt daraus, dass in den Alpen die minimal einzuhaltende Mindestflughöhe an jedem beliebigen Punkt der Flugstrecke 2000 ft höher ist als das höchste Hindernis links und rechts des Flugwegs. Beim Flugweg der HB-HOT im Talkessel südwestlich des Piz Segnas lag diese minimal einzuhaltende Mindestflughöhe oberhalb von 12 500 ft AMSL, entsprechend 3800 Meter über Meer.

Im Betriebshandbuch von Ju-Air fanden diese Regeln bezüglich minimaler Steigrate und minimaler Hindernisfreiheit keine Erwähnung.

Weitere Angaben zur minimalen Steigrate und zu Mindestflughöhen finden sich in Anlage A1.17.

1.17.1.8 Instrumente und Ausrüstung der Luftfahrzeuge

Die Anforderungen an Instrumente und Ausrüstung von gewerblich betriebenen Luftfahrzeugen waren seit 1997 in den *Joint Aviation Requirements* (JAR-OPS 1) beschrieben. Da die Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air aufgrund ihres Alters zahlreiche Anforderungen nicht erfüllten, ersuchte das Flugbetriebsunternehmen Ju-Air im Februar 2004 beim BAZL um die Bewilligung von Abweichungen und Ausnahmen von 15 Anforderungen, die u. a. auch den Verzicht auf eine Tonaufzeichnungsanlage für das Cockpit (*Cockpit Voice Recorder* – CVR) und ein zweites, unabhängiges statisches Drucksystem für die Geschwindigkeits- und Höhenmessung umfassten.

Am 15. April 2004 bewilligte das Bundesamt für Zivilluftfahrt diese Anträge von Ju-Air ohne Auflagen. Bei der Überführung der JAR-OPS 1 in die EU-OPS 1[34] im Jahr 2007 sowie bei der Überführung von EU-OPS 1 in EASA-OPS[35] im Jahr 2014 wurden diese Ausnahmebewilligungen übernommen und nicht neu beurteilt. Als Folge

[33] Auf ihrem Unfallflug erreichte die HB-HOT eine maximale Flughöhe von 2833 m/M (vgl. Kapitel 1.1.2), was einer Druckhöhe von 2670 m/M entsprach. Da Ju-Air in ihren Ju-52-Flugzeugen keinen Zusatzsauerstoff mitführte, deklarierte Ju-Air in ihrem Betriebshandbuch, dass die Besatzungen die Ju-52-Flugzeuge im Normalbetrieb nicht in Höhen über 10 000 Fuss (3048 m) Druckhöhe fliegen dürfen (vgl. Anlage A1.17).

[34] Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates vom 16. Dezember 1991 zur Harmonisierung der technischen Vorschriften und der Verwaltungsverfahren in der Zivilluftfahrt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 1899/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates zur Harmonisierung der technischen Vorschriften und der Verwaltungsverfahren in der Zivilluftfahrt.

[35] Verordnung (EU) Nr. 965/2012 der Kommission vom 5. Oktober 2012 zur Festlegung technischer Vorschriften und von Verwaltungsverfahren in Bezug auf den Flugbetrieb gemäss der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates.

davon blieb auch die Vorgabe zum Einbau eines Geländewarnsystems unbeachtet.

Weitere Angaben betreffend Instrumente und Ausrüstung der Luftfahrzeuge finden sich in Anlage A1.6.

1.17.1.9 Betriebshandbuch

Die Teile A bis D des Betriebshandbuchs (*Operations Manual* – OM) des Flugbetriebsunternehmens lehnten sich in ihrem Aufbau an diejenigen einer herkömmlichen Fluggesellschaft an. Da Ju-Air nur Flüge nach Sichtflugregeln ausführte, wurde auf die sonst üblichen Themenbereiche, die hauptsächlich den Instrumentenflug betreffen, verzichtet. Das Handbuch beschrieb einige für den Betrieb notwendige Verfahren ausführlich. Wie eine Überprüfung zahlreicher Flüge und Planungsunterlagen aber zeigte, hatten die Vorgaben nur einen formalen Charakter und wurden von den Flugbesatzungen im Betrieb oft nicht umgesetzt. So war es allgemein üblich, die Masse- und Schwerpunktberechnung nicht oder nur teilweise auszuführen. Der Flugdurchführungsplan (*Operational Flight Plan*) wurde in der Regel nicht korrekt ausgefüllt und im Sinne der Vorgaben verwendet.

Das Betriebshandbuch enthielt keine Vorgaben für das Fliegen im Gebirge.

Weitere Angaben zu den Inhalten des Betriebshandbuchs finden sich an verschiedenen Stellen der Anlage A1.17.

1.17.1.10 Überwachung des Flugbetriebs

Da das Flugbetriebsunternehmen über keinerlei Mittel für eine aussagekräftige Beurteilung seines Flugbetriebs verfügte, wurde eine solche Abklärung nach dem Unfall durch die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle vorgenommen. Zu diesem Zweck stellte die SUST die Radardaten von 216 Flügen mit Flugzeugen des Baumusters Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air sicher, die zwischen April 2018 und dem Unfalltag durchgeführt worden waren. Diese Radarspuren wurden mit den zum Zeitpunkt des betreffenden Fluges herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen höhenkorrigiert und anschliessend bezüglich der angewendeten Verfahren insbesondere beim Fliegen im Gebirge analysiert. Den folgenden flugtaktischen Aspekten wurde dabei besondere Beachtung geschenkt:

- Flugphasen ohne mögliche Umkehrkurve bzw. ohne alternativen Flugweg;
- tiefes Überfliegen von Hochebenen auf 2500 m/M und höher;
- Annäherung und Überflug von Kreten mit annähernd 90 Grad zur Krete in geringer Flughöhe über Grund;
- vertikale Annäherung ans Gelände deutlich unter den empfohlenen Sicherheitsüberhöhungen respektive unter den vorgeschriebenen Mindestflughöhen für den nichtgewerblichen Sichtflug.

Damit konnte ein realistisches Bild der Betriebsgrundsätze und der tatsächlich angewendeten Verfahren gewonnen werden. Es fiel auf, dass in rund einem Drittel (36.6 %) der analysierten Flüge erheblich gegen elementare Grundsätze einer sicheren Flugführung im Gebirge verstossen wurde. In 16.7 % der Flüge traten hochriskante Situationen auf. Von den 27 Piloten der Ju-Air hatten 16 eine Ausbildung als Luftwaffenpilot. Die Verstösse gegen elementare Sicherheitsregeln traten nicht

im gesamten Pilotenkorps auf, sondern vornehmlich bei Piloten, die eine Ausbildung als Luftwaffenpiloten[36] aufwiesen. Ausführliche Angaben zu diesen flugbetrieblichen Abklärungen finden sich in Anlage A1.18.

1.17.2 Organisation zur Führung der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit

Der Verein der Freunde der Schweizerischen Luftwaffe (VFL), bezeichnet als Ju-Air, verfügte über eine Genehmigung als Organisation zur Führung der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit (*Continuing Airworthiness Management Organisation* – CAMO) nach Anhang I (Teil-M) der europäischen Verordnung 1321/2014. Das Personal der Ju-Air, das für die Genehmigung als CAMO benötigt wurde, waren diejenigen Personen, die auch in den beiden Instandhaltungsbetrieben eingesetzt waren.

Weitere Angaben zur CAMO, insbesondere zur Ausgestaltung der entsprechenden Verfahren und zur Qualifikation des eingesetzten Personals, finden sich in Anlage A1.17.

1.17.3 Instandhaltungsbetriebe

Der Verein der Freunde der Schweizerischen Luftwaffe (VFL), bezeichnet als Ju-Air, verfügte über eine Genehmigung als Instandhaltungsbetrieb nach Anhang II (Teil-145) der europäischen Verordnung 1321/2014[37], was Ju-Air erlaubte, die Instandhaltungsarbeiten an den Flugzeugen Ju 52/3m durchzuführen.

Die Instandhaltung, Reparaturen und Grundüberholungen der Motoren waren an die Firma Naef Flugmotoren AG ausgelagert, deren Werkstatt sich im selben Gebäude wie die Ju-Air befand. Die Firma Naef Flugmotoren AG verfügte ebenfalls über eine Genehmigung als Instandhaltungsbetrieb nach Anhang II (Teil-145) der europäischen Verordnung 1321/2014.

Weitere Angaben zur Organisation der Instandhaltung, insbesondere zur Ausgestaltung der entsprechenden Verfahren und zur Qualifikation des eingesetzten Personals, finden sich in Anlage A1.17.

1.17.4 Aufsichtsbehörde

1.17.4.1 Organisation

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) ist als nationale Behörde für die Aufsicht über die zivile Luftfahrt in der Schweiz sowie für die Luftfahrtentwicklung zuständig, soweit diese Aufgaben nicht durch die supranationale Luftfahrtbehörde EASA wahrgenommen werden. Das BAZL gehört dem Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) an und ist dafür verantwortlich, dass die zivile Luftfahrt in der Schweiz ein hohes Sicherheitsniveau aufweist und eine nachhaltige Entwicklung verfolgt.

Im Rahmen der vorliegenden Sicherheitsuntersuchung wurden vorwiegend die Abteilungen «Sicherheit Flugtechnik» und «Sicherheit Flugbetrieb» bezüglich ihres Einflusses auf den Unfall untersucht.

Weitere Angaben zur Organisation und zu den Aufgaben des BAZL finden sich in Anlage A1.17.

[36] Die meisten dieser Piloten hatten ihre Ausbildung bei der Luftwaffe während des Kalten Krieges durchlaufen. Nach Angaben der Schweizer Luftwaffe sind die heutige Ausbildung eines Militärpiloten und das heutige Flugsicherheitssystem der Luftwaffe nicht mit den damaligen Gegebenheiten vergleichbar und entsprechen den heute geltenden internationalen Standards.

[37] Verordnung (EU) 1321/2014 der Kommission vom 26. November 2014 über die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit von Luftfahrzeugen und luftfahrttechnischen Erzeugnissen, Teilen und Ausrüstungen und die Erteilung von Genehmigungen für Organisationen und Personen, die diese Tätigkeiten ausführen.

1.17.4.2 Inspektionstätigkeit im technischen Bereich

Bei fünf seit 2010 am Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, ausgeführten Lufttüchtigkeitsinspektionen hielt das Bundesamt für Zivilluftfahrt in den entsprechenden Dokumenten keine Beanstandungen und Kommentare fest.

In den Instandhaltungsbetrieben fand das BAZL bei Audits gelegentlich Mängel, die es beanstandete, und forderte vom betreffenden Betrieb deren Behebung. In der Folge kamen die Instandhaltungsbetriebe diesen Vorgaben des BAZL zum Teil nicht nach, so dass das BAZL sie beim nächsten Audit wieder monierte. Auch dann wurden die Mängel gelegentlich nicht behoben.

Die Organisation zur Führung der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit (*Continuing Airworthiness Management Organisation* – CAMO) wurde den ihr zugedachten Qualitätssicherungsprozessen nicht gerecht. Das BAZL beanstandete einige Punkte bezüglich der Abläufe und des Personals, die Defizite bezüglich der fehlenden Kontrollmechanismen wurden aber nicht erkannt.

Beim BAZL fehlte seit längerer Zeit die Fachkompetenz im Bereich der Kolbenmotoren.

Details zur technischen Aufsichtstätigkeit des BAZL finden sich in Anlage A1.17.

1.17.4.3 Betriebliche Zulassung

Das Flugbetriebsunternehmen verfügte über ein Betriebshandbuch (*Operations Manual* – OM) mit den Teilen A bis D, wie dies für einen Betreiber mit gewerblichem Luftverkehrsbetrieb üblich ist. In diesem Betriebshandbuch hatte das Bundesamt für Zivilluftfahrt die zur Genehmigung vorgesehenen Verfahren genehmigt. Diese Betriebsgrundlagen basierten auf den Vorgaben der auch in der Schweiz unmittelbar anwendbaren europäischen Verordnung 965/2012[38].

Im BAZL herrschten unterschiedliche Auffassungen darüber, weshalb von den Vorgaben der europäischen Verordnung 965/2012 abgewichen werden konnte. Zum einen war man der Auffassung, dass diese Anforderungen nur für den Luftverkehrsbetrieb nach Instrumentenflugregeln gelten würden. Zum andern stellte man sich auf den Standpunkt, dass die für den gewerblichen Betrieb geltenden Regelwerke den Betrieb von grossen und historischen Luftfahrzeugen im Sichtflugbetrieb nicht genügend behandeln würden und der Schweiz eine gewisse Flexibilität bei der Anwendung der Vorgaben zustehe. Das BAZL unterliess es aber nach eigenen Angaben, diese Abweichungen in der korrekten Form zu dokumentieren und die europäischen Instanzen darüber in Kenntnis zu setzen. In den Unterlagen von Ju-Air findet sich denn auch keine ausdrückliche Erlaubnis, von den in Frage stehenden Regeln abzuweichen. In diesem Sinne wurden das Abweichen durch Ju-Air von den für den gewerblichen Luftverkehrsbetrieb geforderten Mindestflughöhen sowie von weiteren betrieblichen Anforderungen nach der europäischen Verordnung 965/2012 vom BAZL geduldet.

Details zur betrieblichen Zulassung finden sich in Anlage A1.17.

1.17.4.4 Betriebliche Aufsicht

Die betriebliche Aufsicht des BAZL bestand aus Audits, Fluginspektionen und Vorfeldinspektionen.

[38] Verordnung (EU) Nr. 965/2012 der Kommission vom 5. Oktober 2012 zur Festlegung technischer Vorschriften und von Verwaltungsverfahren in Bezug auf den Flugbetrieb gemäss der Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates.

In den sechs Jahren vor dem Unfallflug führte das Bundesamt für Zivilluftfahrt an fünf Tagen auf Flugplätzen in der Schweiz gesamthaft sechs nicht angekündigte Vorfeldinspektionen eines Ju-52-Flugzeuges von Ju-Air durch. Bei diesen Inspektionen überprüften die Mitarbeiter des BAZL neben den Ausweisen der Flugbesatzung und den Flugzeugpapieren auch die Masse- und Schwerpunktberechnung der Flugbesatzung. Wie die Untersuchung nachweisen konnte, wiesen die Masse- und Schwerpunktberechnungen dieser Flüge Fehler auf. So wurden beispielsweise auf den Flugdurchführungsplänen nicht korrekte Leermassen (*Basic Empty Mass* – BEM) verwendet, was aus den im Flugzeug mitgeführten Wägeblättern im Luftfahrzeug-Flughandbuch ohne Weiteres feststellbar gewesen wäre. Anlässlich dieser Vorfeldinspektionen wurden in keinem Fall diese Fehler in der Masse- und Schwerpunktberechnung beanstandet.

Die betrieblichen Inspektoren des BAZL führten neben den Audits auch Fluginspektionen mit Besatzungen von Ju-Air durch, wobei sie meist an einzelnen periodischen Leistungsüberprüfungen, die vom Flugbetriebsunternehmen im Frühjahr angesetzt wurden, teilnahmen. Diese Flüge wurden ohne Passagiere durchgeführt und waren nicht mit den im gewerblichen Flugbetrieb genutzten Routen vergleichbar, da sie üblicherweise in der Flugplatzumgebung stattfanden und nicht ins Gebirge führten. Während zehn Jahren vor dem Unfall nahm einzig am 13. September 2016 ein Inspektor des Bundesamtes für Zivilluftfahrt an einem Flug mit Passagieren teil. Die Analyse der entsprechenden Daten zeigt, dass während dieses Fluges Gebirgskreten mehrfach deutlich unterhalb der Sicherheitsüberhöhung von mindestens 1000 ft AGL (300 m/G) überquert wurden. Auch wurden Gebirgskreten steigend oder rechtwinklig angeflogen. Diese Flugwegwahl widersprach deutlich den vom BAZL verfassten Richtlinien für Flüge in den Alpen, wie sie im Luftfahrthandbuch der Schweiz (*Aeronautical Information Publication* – AIP), VFR-*Guide* RAC 6-3 (vgl. Kapitel A1.17.6.2.2) veröffentlicht waren. Dieser Flug wurde vom mitfliegenden Inspektor des Bundesamtes für Zivilluftfahrt in jeder Hinsicht als tadellos beurteilt. Auch die nachweislich fehlerhafte Masse- und Schwerpunktberechnung wurde nicht bemängelt.

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt wurde in den Jahren vor dem Unfall durch die supranationale Aufsichtsbehörde EASA auditiert. Anlässlich dieses Auditprozesses gelangte die EASA unter anderem zum Schluss, dass der Umfang der Aufsichtstätigkeiten des BAZL eine tiefe Prüfung der Regeltreue bei den beaufsichtigten Betreibern nicht gewährleiste. Im Rahmen der Untersuchung des Unfalls der HB-HOT wurden vergleichbare Mängel bezüglich der Aufsicht über Ju-Air beobachtet. Eine Wirkung der aufgrund des Audits vorgesehenen Massnahmen (Erhöhung der Dauer und der Anzahl der Audits sowie der Fluginspektionen) konnte bei der Aufsicht über Ju-Air und die Instandhaltungsbetriebe nicht festgestellt werden.

Weitere Details zur betrieblichen Aufsichtstätigkeit, insbesondere auch zu Audits durch das BAZL, finden sich in Anlage A1.17.

1.18 Zusätzliche Angaben

Eine Auswahl der nach dem Unfall durch die SUST ausgewerteten Flüge von Ju-Air sowie Angaben zu diesen flugbetrieblichen Abklärungen finden sich in Anlage A1.18.

1.19 Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken

Die folgenden Untersuchungstechniken haben sich im Rahmen dieser Untersuchung als besonders nützlich und wirksam herausgestellt:

- Asservierung, Auslesen und Auswertung von nicht aufschlagresistenten und deshalb teilweise beschädigten Datenspeichern aus Mobiltelefonen und Kameras von Flugzeuginsassen;
- Auswertung der Toncharakteristik der Motoren zur Analyse ihrer Drehzahl und ihres Zustandes ausgehend von Videoaufnahmen;
- Fotogrammetrische Auswertung von Bildern und Videoaufnahmen aus dem Flugzeug und von Personen am Boden zur Bestimmung von Positionen im Raum, Lagewinkeln und Zeitverläufen.

Detaillierte Angaben zu den verwendeten Untersuchungsmethoden finden sich in Anlage A1.19.

2 Analyse

2.1 Aufbau der Analyse

Um die Vorgänge während des Unfallfluges gut verstehen zu können, werden zunächst die menschlichen Voraussetzungen der Flugbesatzung betrachtet und die Bedeutung der technischen Voraussetzungen, der Wetterverhältnisse sowie der betrieblichen Voraussetzungen dargelegt. Anschliessend werden der Unfall und die mit ihm unmittelbar zusammenhängenden Ursachen erklärt. Ein dritter Teil bewertet die systemischen Aspekte, d. h. die tieferliegenden Gründe, weshalb sich dieser Unfall ereignen konnte.

2.2 Rahmenbedingungen des Unfallfluges

2.2.1 Menschliche Voraussetzungen

Der Werdegang der Piloten A und B, ihre Ausbildung und ihre Erfahrung lassen zweifelsfrei erkennen, dass die beiden für den bevorstehenden Flug mit dem Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, von Locarno nach Dübendorf gut qualifiziert waren und über das notwendige Fachwissen verfügten.

Sämtliche Beweismittel, die im Rahmen der Untersuchung erhoben wurden, belegen, dass die beiden Piloten A und B bei Antritt des Rückfluges nach Dübendorf ausgeruht sowie in guter psychischer und physischer Verfassung waren. Auch der Umstand, dass die Flugbesatzung mit einem Motorflugzeug am 3. August 2018 in die Nordschweiz reiste und Pilot B am Morgen des 4. August 2018 mehrere Rundflüge von Dübendorf aus mit anderen Junkers Ju 52 des Flugbetriebsunternehmens ausführte, hatte keinen Einfluss auf den Unfall.

2.2.2 Technische Voraussetzungen

Die umfangreichen technischen Abklärungen haben gezeigt, dass das Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, verschiedene technische Einschränkungen aufwies. So erreichten beispielsweise alle drei eingebauten Neunzylinder-Sternmotoren des Baumusters BMW 132 A3 die vom Hersteller vorgegebenen Drehzahlen nicht mehr. Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass die in der Betriebsanweisung des Flugzeugmusters festgelegten Flugleistungen nicht mehr zu erreichen waren. Auch wurden im Rahmen der Untersuchung am Flugzeug HB-HOT zahlreiche technische Mängel wie Korrosionsschäden an der Flugzeugstruktur gefunden. Weiter wurde festgestellt, dass verschiedene Bauteile mangelhaft instandgehalten oder durch nachgebaute Teile, die qualitative Mängel aufwiesen, ersetzt worden waren. Aus diesen zahlreichen technischen Unzulänglichkeiten kann geschlossen werden, dass das Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, bei Antritt des Unfallfluges weder materiell noch formell lufttüchtig war. Trotzdem funktionierte das Flugzeug aber so, dass sich die gefundenen technischen Mängel nicht nachweislich auf den Unfall auswirkten. Es gibt keinen Hinweis darauf, dass diese Mängel die Handlungen und Entscheidungen der Flugbesatzung beeinflussten. Dies wird unter anderem auch dadurch belegt, dass sie das Flugzeug schon einen Tag vorher ohne Beanstandung von Dübendorf nach Locarno geflogen hat. Auch andere Flugbesatzungen haben während der Wochen und Monate vor dem Unfall keine relevanten Beanstandungen bezüglich des Flugzeuges HB-HOT angebracht. Dies lässt den Schluss zu, dass sich die Flugbesatzungen an die eingeschränkten Flugeigenschaften gewöhnt hatten und die übrigen Mängel durch sie nicht zu entdecken waren. Der nicht ordnungsgemässe technische Zustand des Flugzeuges HB-HOT und seine eingeschränkten Flugleistungen stellen aber risikoerhöhende Faktoren (*factor to risk*) dar, die bei den Flugzeugen des gleichen Baumusters künftig beseitigt werden sollten.

2.2.3 Wetterverhältnisse

Die Wettervorhersagen, welche die Flugbesatzung vor dem Flug konsultieren konnte, zeigten keine aussergewöhnlichen oder besonders schwierigen Wetterverhältnisse. Wie die Untersuchung nachweisen konnte, stimmte das auf dem Flug angetroffene Wetter weitgehend mit den Prognosen überein. Zumindest Pilot B war am Morgen von Dübendorf aus bereits geflogen und hatte sich mit der Wettersituation auseinandergesetzt. Beide Piloten hatten unmittelbar vor dem Unfallflug den Alpenhauptkamm in einem Leichtflugzeug bereits einmal überquert. In Verbindung mit der grossen Erfahrung der Flugbesatzung kann daraus geschlossen werden, dass sie bezüglich der aktualen Wettersituation über einen ausreichenden Kenntnisstand verfügten. Es dürfte der Flugbesatzung klar gewesen sein, dass lokale Gebiete mit Schauern oder Gewittern problemlos umflogen werden konnten. Die Wetterlage war für einen Sichtflug über die Alpen geeignet und ermöglichte verschiedene gefahrlose Routen für einen Flug von Locarno nach Dübendorf. Sowohl aufgrund der Vorhersagen als auch mit Blick auf die tatsächlichen Wetterverhältnisse war selbst eine Umkehr ins Tessin jederzeit möglich. Das Streckenwetter bot keine Überraschungen und war gut einzuschätzen. Des Weiteren steht ausser Zweifel, dass die erfahrenen und gut ausgebildeten Piloten das Phänomen der relativ grossen Dichtehöhe bei hochsommerlichen Temperaturen kannten. Obwohl das Flugzeug, wie oben dargelegt, nicht mehr die Leistungen erbrachte, die vom Hersteller nachgewiesen worden waren, stellten die an diesem Tag herrschenden Temperaturen für den geplanten Flug keine kritische Einschränkung dar.

2.2.4 Betriebliche Voraussetzungen

Die Flugbesatzung traf am 4. August 2018 rund anderthalb Stunden vor dem Abflug nach Dübendorf am Flugplatz Locarno ein. Damit stand ausreichend Zeit für die Vorbereitung des Flugzeuges und für die Flugplanung zur Verfügung. Im Rahmen der Flugvorbereitung war es auch vorgesehen, auf dem Flugdurchführungsplan (*Operational Flight Plan*) eine Berechnung von Masse und Schwerpunkt vorzunehmen. Die nach dem Unfall vorgefundenen Flugdurchführungspläne sowohl des Fluges vom 3. August 2018 von Dübendorf nach Locarno als auch des Unfallfluges belegen, dass die Flugbesatzung die Berechnung von Masse und Schwerpunkt unvollständig und fehlerhaft durchführte. Weiter konnte kein Nachweis für eine Berechnung oder zumindest eine Abschätzung der Flugleistungen bei Start, im Reiseflug und bei der Landung gefunden werden. Wie die Untersuchung nachweisen konnte, unterliessen es die Flugbesatzungen von Ju-Air häufig, diese Art von Berechnungen vor dem Flug durchzuführen, obwohl dies im Betriebshandbuch des Flugbetriebsunternehmens vorgeschrieben war. Es liegt deshalb nahe, dass sich auch die beiden Piloten A und B an das Nichteinhalten dieser betrieblichen Vorgaben gewöhnt hatten und daher die Flugvorbereitung unvollständig blieb. Die supranationalen Vorgaben zu Start und Reiseflug in Bezug auf Startrollstrecke, Steigrate und Hindernisfreiheit wurden beim Unfallflug nicht eingehalten.

Im vorliegenden Fall konnte nachgewiesen werden, dass das Flugzeug sowohl beim Hinflug am 3. August 2018 als auch auf dem Unfallflug am 4. August 2018 mit einer Masse betrieben wurde, die unterhalb der höchstzulässigen Abflugmasse lag. Hingegen lag auf beiden Flügen der Schwerpunkt des Flugzeuges hinter der durch den Hersteller vorgegebenen Grenze. Es gilt anzumerken, dass die Flugbesatzung bei korrekter Ausführung der Masse- und Schwerpunktberechnung mithilfe der zur Verfügung gestellten Unterlagen bzw. der durch Ju-Air verwendeten Flugplanungssoftware, nicht hätte erkennen können, dass der Schwerpunkt hinter der erlaubten Grenze lag. Der Grund dafür waren fehlerhafte Ausgangsdaten und eine mangelhafte Ausführung der Flugplanungssoftware. Diese Mängel stellen einen systemisch zum Unfall beitragenden Faktor dar.

2.3 Unfallflug

2.3.1 Betriebliche Aspekte

Der Flug des Flugzeuges Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, am 4. August 2018 verlief nach dem Start in Locarno zunächst ereignislos über die Riviera und das Bleniotal in Richtung der Greinaebene. Die in der Luftfahrtkarte als *«zu meidende Zone»* eingezeichnete Landschaftsruhezone im Bereich der Greinaebene wurde in einer Höhe von 120 bis 300 m über Grund überflogen, was auf eine wenig rücksichtsvolle Beachtung dieses Gebiets durch die Flugbesatzung schliessen lässt. Hierzu ist anzumerken, dass es bereits in den Jahren vor dem Unfall zu Reklamationen aus der Bevölkerung kam, weil Flugzeuge der Ju-Air Wildtierschutzgebiete in tiefer Höhe überquert hatten. In der Folge hatte das Bundesamt für Zivilluftfahrt vom Flugbetriebsunternehmen entsprechende Sensibilisierungs- und Schulungsmassnahmen verlangt, die aber offensichtlich zumindest auf die beiden Piloten A und B keine Wirkung hatten.

Einige Minuten später überquerte das Flugzeug in der Region Ilanz mit einem nordöstlichen Kurs die Surselva und führte zunächst eine relativ enge Kurve nach links aus. Dieses Manöver brachte es über Ruschein (GR), wo eine Bekannte der Flugbegleiterin wohnte. Die Flugbegleiterin hatte wenige Minuten vorher über ihr Mobiltelefon eine Textnachricht an die Bekannte abgesetzt und angekündigt, dass die Ju 52 in Kürze Ruschein überfliegen werde. Es liegt deshalb nahe, dass das auch vom Boden aus auffallende Flugmanöver auf diese Ankündigung zurückzuführen ist.

In dieser Phase befand sich die HB-HOT in einem Steigflug und erreichte über dem Gebiet Nagens mit 2833 m/M ihre grösste Flughöhe auf ihrem letzten Flug.

Es fällt auf, dass die Flugbesatzung das Flugzeug kurz nach dem Vorbeiflug am Berghaus Nagens mit einer Geschwindigkeit führte, die über längere Zeit nur noch rund 140 km/h über Grund betrug. Berücksichtigt man den in dieser Phase herrschenden Gegenwind, so bewegte sich das Flugzeug mit ungefähr 180 km/h wahrer Fluggeschwindigkeit. Damit lag die Fluggeschwindigkeit beim Anflug auf den Talkessel südwestlich des Piz Segnas ungefähr 44 % über der Abrissgeschwindigkeit. Da während des bisherigen Fluges bereits Turbulenz aufgetreten war und für die Passüberquerung eine Kurve, verbunden mit einer höheren Abrissgeschwindigkeit, notwendig wurde, war diese Sicherheitsmarge zu gering. Dazu kommt, dass das Flugzeug bereits in dieser Phase eine tendenziell geringe Überhöhung von weniger als 200 m gegenüber dem zu überquerenden Segnespass aufwies, was verbunden mit dieser tiefen Geschwindigkeit eine riskante Ausgangslage für den weiteren Flugverlauf darstellte.

Diese Situation verbesserte sich nicht, obwohl die Geschwindigkeit kurzfristig um rund 50 km/h bis gegen 230 km/h wahrer Fluggeschwindigkeit anstieg, weil dieser Geschwindigkeitszuwachs nicht von einer Leistungserhöhung herrührte. Dieser resultierte vielmehr aus einem leichten Sinkflug um rund 80 Meter, der die Überhöhung des Flugzeugs gegenüber dem Segnespass auf rund 115 Meter verringerte. Der Pass stellt die tiefste Stelle der Bergkette dar, die den Talkessel begrenzt. Aufgrund der topografischen Enge dieses Übergangs müssen für eine sichere Überquerung der entsprechenden Krete deutlich grössere Geländehöhen als die Passhöhe in die Wahl des Flugweges einbezogen werden.

Durch eine Leistungserhöhung auf allen drei Motoren um je ungefähr 40 Umdrehungen pro Minute stieg die Maschine daraufhin um etwa 25 Meter auf 2767 m/M und wies damit wieder rund 140 m Überhöhung gegenüber dem Segnespass auf. Gleichzeitig verringerte sich aber die wahre Fluggeschwindigkeit der HB-HOT gegen 200 km/h und der herrschende Gegenwind nahm laufend ab.

Die Analyse der Leistungssetzung bzw. der Drehzahlen der drei Motoren zeigt, dass diese regelbar waren und das Flugzeug sinngemäss auf Leistungsänderungen reagierte. Dabei wurden weder die höchstzulässige Drehzahl noch die angesichts der nachgewiesenen technischen Einschränkungen zu erwartenden höchstmöglichen Drehzahlen der Motoren erreicht. Daraus kann geschlossen werden, dass trotz der relativ grossen Dichtehöhe und dem mangelhaften Zustand der Motoren noch eine Leistungsreserve vorhanden war.

Die Analyse der Querruderausschläge und der Reaktion des Flugzeuges auf diese Steuereingaben belegt, dass das Flugzeug auch in dieser Phase des Fluges steuerbar war und entsprechend reagierte.

Kurz darauf flog die HB-HOT in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas ein und wurde von diesem Zeitpunkt an von der Flugbesatzung annähernd in der Talmitte auf einem nordnordöstlichen Kurs gesteuert. Mit dieser Flugwegwahl wollte die Flugbesatzung möglicherweise den Passagieren eine gute Sicht auf das Martinsloch, eine bekannte geologische Sehenswürdigkeit, gewähren. Aufgrund der geringen Flughöhe und der Enge des Talkessels war nun keine sichere Umkehrkurve oder eine andere Flugwegwahl als über die Krete des Segnespasses mehr möglich. Es gehört zu den elementaren Grundsätzen des Gebirgsfluges, dass stets die Möglichkeit für einen alternativen Flugweg oder eine Umkehrkurve bestehen muss. Indem die Flugbesatzung auf diese sicherheitsrelevanten Voraussetzungen verzichtete, schuf sie in Verbindung mit der geringen Flughöhe gegenüber dem zu überquerenden Pass eine hochriskante Situation, die keine Toleranz gegenüber weiteren Fehlern, Störungen oder Einflüssen von aussen mehr aufwies. Damit stellt diese Art der Flugführung eine kausale Voraussetzung für den weiteren Ablauf des Ereignisses dar.

Wie die Rekonstruktion des Flugweges und der Windbedingungen zeigt, begann das Flugzeug beim Vorbeiflug an den Tschingelhörnern während einiger Sekunden durch Abwinde, die eine Vertikalgeschwindigkeit von 2 bis 5 m/s aufwiesen, abzusinken. Derartige Abwinde in diesem Bereich des Talkessels konnten durch die umfangreichen meteorologischen Abklärungen nachgewiesen werden. Sie stellen ein nicht aussergewöhnliches Phänomen im Gebirge dar.

Wie die Videoaufnahmen belegen, leitete die Flugbesatzung während dieses Absinkens und als sich das Flugzeug ungefähr querab des Martinslochs befand, eine Rechtskurve ein und führte anschliessend einen Kurvenwechsel nach links durch. Die wahre Fluggeschwindigkeit betrug dabei ungefähr 180 km/h und die Winkeldifferenz zwischen Längslagewinkel und Flugbahnwinkel nahm während der Rechtskurve auf rund 15 Grad zu.

In dieser Phase wurde die Leistung der Motoren geringfügig reduziert, wobei die Charakteristik der Regelungsweise nahelegt, dass die Flugbesatzung daran war, die drei Motoren zu synchronisieren. Gleichzeitig erhöhte sich der Längslagewinkel des Flugzeuges weiter und die Flugbahn wurde zunehmend steiler gegen unten.

Es ist denkbar, dass aufgrund der Beschäftigung mit den Motoren und der Perspektive, die ein einfaches Erkennen des Absinkens erschwerte, der Längslagewinkel durch die Flugbesatzung unbewusst vergrössert wurde, um dies zu kompensieren (vgl. Abbildung 21). Zudem begünstigte die Lage des Schwerpunktes ausserhalb der hinteren Begrenzung diesen Vorgang und machte das Flugzeug instabiler um die Querachse, was einen direkt zum Unfall beitragenden Faktor darstellt.

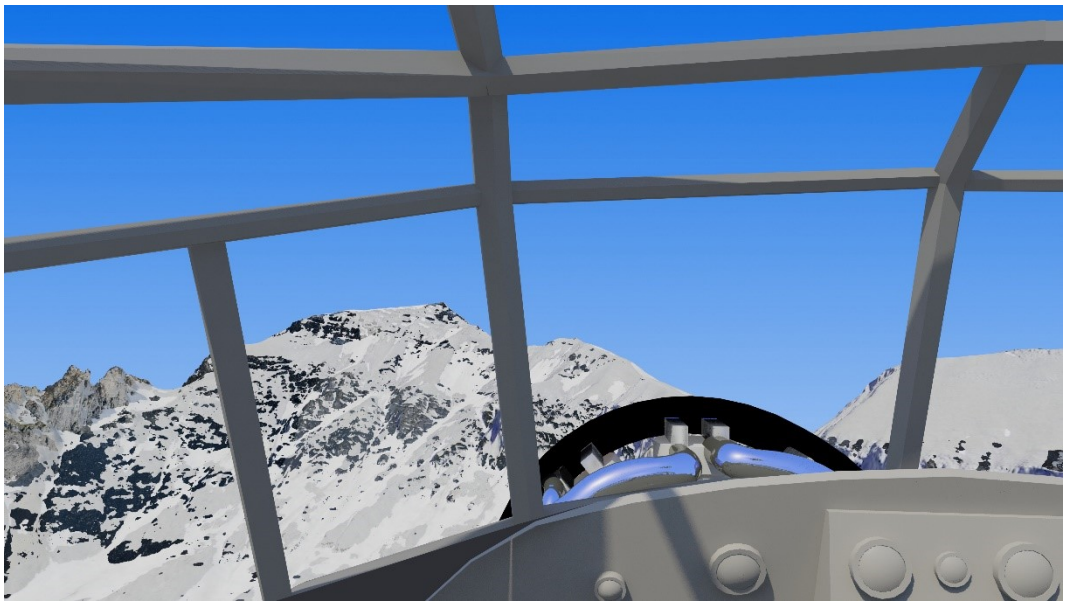

Abbildung 21: Rekonstruierte Sicht aus der Position des Kommandanten der HB-HOT beim Punkt F9. In Blickrichtung befindet sich der Piz Segnas. Dargestellt mit dem vereinfachten Modell des Flugzeuges und dem dreidimensionalen Geländemodell. Das Fehlen von sichtbaren Punkten hinter der ersten Horizontlinie erschwerte das Erkennen des Absinkens durch den Abwind.

Nun nahm das Flugzeug eine Sinkgeschwindigkeit von rund 6 m/s an, die in der Folge weiter zunahm, was aufgrund der Analyse von Fluglage, Geschwindigkeit und der Strömungsverhältnisse im Talkessel südwestlich des Piz Segnas nicht mehr einem Abwind zugerechnet werden kann. Aufgrund des hohen Längslagewinkels und der deutlich nach unten weisenden Flugbahn ist es auch ausgeschlossen, dass dieser Sinkflug von der Flugbesatzung durch das Höhensteuer bewirkt wurde. Vielmehr kann daraus geschlossen werden, dass sich das Flugzeug in einem Flugzustand befand, in dem die Luftströmung am Tragflügel zumindest teilweise abgerissen war. Dazu ist festzuhalten, dass ein Strömungsabriss unabhängig von der Geschwindigkeit auftritt, wenn der kritische Anstellwinkel des Flügelprofils überschritten wird.

Dieses Abreissen der Strömung (*stall*) kann aerodynamisch wie folgt erklärt werden: Die HB-HOT war zunächst durch ein Abwindfeld in einen Sinkflug gebracht worden. Der Sinkflug im Abwind, der durch einen zunehmenden Längslagewinkel teilweise kompensiert wurde, führte zu einem Flugzustand nahe am maximalen Anstellwinkel. In dieser Fluglage genügte die zusätzliche Erhöhung des Anstellwinkels beim Einfliegen in einen mehr oder weniger starken Aufwind, um die Strömung zumindest teilweise abreissen zu lassen. In einem anhaltenden oder langsam abnehmenden Abwind wäre diese Entwicklung nicht zu erwarten gewesen. Die festgestellten Strömungsverhältnisse im Talkessel weisen darauf hin, dass das Flugzeug aus dem Abwindfeld in ein Aufwindfeld geriet. Ein Wechsel der Vertikalkomponente des Windvektors von 2 bis 5 m/s Sinken auf 3 bzw. 0 m/s Steigen reichte aus, dass der kritische Anstellwinkel überschritten wurde (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 23). Wie sowohl die Messungen als auch die Strömungsberechnung gezeigt haben, waren auch grössere Scherwerte ohne weiteres möglich. Entsprechend turbulente Bedingungen im Gebirge sind nicht aussergewöhnlich und werden beim Fliegen in Geländenähe zu einem Risiko.

Abbildung 22: Stationärer Flug im Abwindfeld. Schwarz: Längsachse des Flugzeuges, schwarz gestrichelt: Horizontale; grün: Profilsehne; gelber Vektor: Bewegungsvektor des Flugzeuges in Bezug auf das Abwindfeld; blauer Vektor: Abwindvektor; roter Vektor: Flugbahn, d. h. resultierender Bewegungsvektor des Flugzeuges im Raum; violetter Winkel: Längslagewinkel – Winkel zwischen der Horizontalen und der Flugzeuglängsachse; roter Winkel: Flugbahnwinkel – Winkel zwischen der Horizontalen und der Tangente an die Flugbahn; gelber Winkel: Anstellwinkel – Winkel zwischen der Anströmrichtung, die dem umgekehrt gerichteten Bewegungsvektor in Bezug auf das Abwindfeld entspricht, und der Profilsehne.

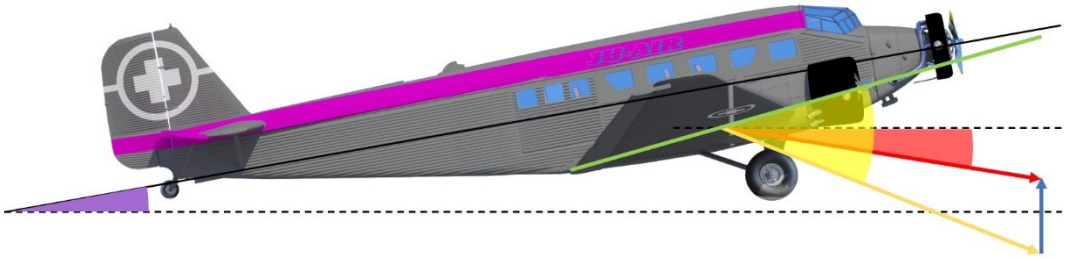

Abbildung 23: Einflug aus einem Abwindfeld in ein Aufwindfeld. Der Flugbahnvektor (rot) bleibt wegen der Massenträgheit des Flugzeuges kurzfristig gleich; blauer Vektor: Aufwindvektor; gelber Vektor: Bewegungsvektor des Flugzeuges in Bezug auf das Aufwindfeld. Der Anstellwinkel (gelb) steigt wesentlich an. Schwarz: Längsachse des Flugzeuges; schwarz gestrichelt: Horizontale; grün: Profilsehne; violetter Winkel: Längslagewinkel – Winkel zwischen der Horizontalen und der Flugzeuglängsachse; roter Winkel: Flugbahnwinkel – Winkel zwischen der Horizontalen und der Tangente an die Flugbahn; gelber Winkel: Anstellwinkel – Winkel zwischen der Anströmrichtung, die dem umgekehrt gerichteten Bewegungsvektor des Flugzeuges in Bezug auf das Aufwindfeld entspricht, und der Profilsehne.

Es gehört deshalb auch zu den elementaren Grundsätzen des Gebirgsfluges, dass die Fluggeschwindigkeit und damit die Energie des Flugzeuges bei turbulenten Bedingungen und bei Annäherung an das Gelände erhöht werden muss, damit es durch Windscherungen nicht zu einem, wenn auch meist nur kurzfristigen, Strömungsabriss kommen kann. Dabei muss beachtet werden, dass das Flugzeug durch Böen oder Ruderausschläge nicht überlastet wird, so dass sich die einfach zu berechnende Manövergeschwindigkeit als optimale Geschwindigkeit anbietet. Das Flugzeug HB-HOT wies in dieser Phase, als es in die Windscherung geriet, eine wahre Fluggeschwindigkeit von ungefähr 180 km/h auf, die bei den herrschenden Bedingungen rund 55 km/h oder 44 % über der Abrissgeschwindigkeit lag. Eine solche Geschwindigkeitsreserve ist bei der im Gebirge üblichen Turbulenz zu gering.

Nachweislich hat die Flugbesatzung die vorhandene Leistungsreserve der Motoren nicht genutzt, um konsequent eine Geschwindigkeit im Bereich der Manövergeschwindigkeit zu erreichen, die bei den vorliegenden Rahmenbedingungen 197 km/h wahre Fluggeschwindigkeit betrug. Kann die Manövergeschwindigkeit im Horizontalflug nicht erreicht werden, was bei Flugzeugen mit einem relativ grossen Masse-Leistungs-Verhältnis möglich ist, so muss sie im Sinkflug angestrebt

werden. Dies wiederum setzt voraus, dass vorgängig vorausschauend eine genügend grosse Höhenreserve geschaffen wurde. In jedem Fall muss beim Fliegen im Gebirge einem sicheren Energiezustand des Flugzeuges grösste Beachtung geschenkt werden.

Im vorliegenden Fall befolgte die Flugbesatzung diesen wichtigen Grundsatz nicht, was sich unter anderem auch dadurch zeigt, dass sie zu einem Zeitpunkt, als sich das Flugzeug zu tief und zu langsam im Talkessel bewegte, die Leistung der drei Motoren noch zusätzlich reduzierte. Die Wahl einer bezüglich des Flugweges gefährlich tiefen Fluggeschwindigkeit stellt deshalb einen weiteren kausalen Faktor für die Entstehung des Unfalls dar.

Die Videoaufnahmen zeigen weiter, dass sich während dieses Flugzustandes, der einem Sackflug glich, die Querlage nach links stetig vergrösserte. Als diese rund 30 Grad erreicht hatte, erfolgte ein zunächst geringer und dann ein deutlicher Korrekturausschlag des linken Querruders nach unten, was ein Rollmoment nach rechts bzw. entgegen der Rollbewegung bezweckte. Daraus kann geschlossen werden, dass die Flugbesatzung damit die Linkskurve bei einer konstanten Querlage stabilisieren wollte und wahrscheinlich den eingetretenen Strömungsabriss noch nicht wirklich wahrgenommen hatte. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Flugzeug auf rund 2725 m/M und wies damit noch eine Überhöhung von rund 100 m gegenüber dem Segnespass auf.

Die Rollbewegung nach links verlangsamte sich aber nicht und die Querlage nahm weiter zu. Nun wurden die Querruder in Neutralstellung gebracht bzw. leicht in eine Lage für eine Linkskurve ausgeschlagen. Gleichzeitig begann sich die Nase des Flugzeuges nach unten zu senken. Dieser Ablauf lässt sich wie folgt erklären:

- Nachweisbar befand sich das Flugzeug in dieser Phase in einem Flugzustand, der nicht mehr kontrollierbar war bzw. in dem die Rollbewegung nach links zumindest momentan, nicht beendet werden konnte.
- Die nicht kontrollierte Rollbewegung des Flugzeuges kam zustande, weil am linken Flügel, der auf der Kurveninnenseite lag, die Strömung – zumindest in einem grösseren Masse als am rechten Flügel – abgerissen war, was zu einer asymmetrischen Auftriebsverteilung führte. Auch die turbulente Luftströmung kann grundsätzlich asymmetrisch gewirkt haben. Dabei produzierte der rechte Flügel mehr Auftrieb als der linke Flügel und liess das Flugzeug weiter nach links rollen.
- Die Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air sind dafür bekannt, dass sie bei einem Strömungsabriss während des Kurvenfluges auf die Kurveninnenseite abkippen, was bedeutet, dass die Querlage des Flugzeuges weiter zunimmt, der Längslagewinkel sich verkleinert und der Kurvenradius geringer wird.
- Soll der Strömungsabriss beendet und das abkippende Flugzeug wieder unter Kontrolle gebracht werden, so muss der Anstellwinkel verkleinert werden. Zu diesem Zweck ist der Ausschlag des Höhensteuers zu verringern und das Querruder in Richtung des Abkippens zu bewegen. Keinesfalls darf mit Gegenquerruder versucht werden, die Rollbewegung zu stoppen, da durch das nach unten ausgeschlagene Querruder am kurveninneren Flügel dessen Anstellwinkel zusätzlich vergrössert wird, was ein erneutes Anliegen der Strömung an der Tragfläche erschwert.
- Im vorliegenden Fall reagierten die erfahrenen Piloten richtig und versuchten offenbar, das Flugzeug durch ein Nachführen der Steuer in Richtung der Abkippbewegung wieder steuerbar zu machen.

Damit war grundsätzlich der Abfangvorgang eingeleitet, der allerdings aufgrund des geringen Abstands zum Gelände nicht mehr erfolgreich durchzuführen war, wie eine entsprechende Simulation gezeigt hat.

Die flugmechanischen Abläufe bis zur Kollision des Flugzeuges mit dem Boden können wie folgt erklärt werden: Wie Videoaufnahmen aus dem Flugzeug belegen, traten auf der nun zunehmend steiler werdenden Flugbahn niederfrequente Schwingungen (*buffeting*) des Flugzeuges auf, was auf ein erneutes Abreissen der Strömung an der Tragfläche oder am Höhenleitwerk hindeutet. Die letzte Fotografie des Flugzeuges vor dem Aufprall zeigt, dass die Tragflächen weniger als im horizontalen Geradeausflug nach oben durchgebogen waren und das Höhensteuer etwa auf die Hälfte des Vollausschlages nach oben ausgelenkt war. Das Seitensteuer war leicht nach rechts ausgeschlagen. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Flugzeug rund 108 Meter über Grund. Etwas mehr als zwei Sekunden später prallte es nach einer Rollbewegung um weitere 186° nach links in einer senkrechten Fluglage und mit annähernd senkrechter Flugbahn bei einer Geschwindigkeit von rund 200 km/h auf den Boden. Diese Werte weisen ebenfalls darauf hin, dass während des Abfangvorgangs bei einer Fluggeschwindigkeit zwischen 170 und 200 km/h der kritische Anstellwinkel durch eine erhöhte Normalbeschleunigung (*accelerated stall*) nochmals überschritten wurde. Weiter wird klar, dass zum Zeitpunkt, als die letzte Fotografie der HB-HOT entstand, eine ausgeprägte einseitige Auftriebsverteilung vorlag, die in der Endphase des Fluges zu einer Rollrate von gegen 90° pro Sekunde geführt hat.

Sowohl die Analyse der Motorgeräusche als auch die forensische Untersuchung der Bedienelemente der Motoren zeigen, dass die Vollgasbegrenzung während der letzten Phase des Fluges eingeschaltet war. Dies bedeutet, dass die Flugbesatzung die Motoren nicht mehr auf die höchstmögliche Leistung gebracht hatte.

2.3.2 Menschliche Aspekte

In der Folge werden die Handlungen der Flugbesatzungen mit den allgemein anerkannten Grundsätzen des Fliegens im Gebirge verglichen.

Aus den bereits dargelegten Abläufen wird klar, dass die Flugbesatzung das Flugzeug auf eine Weise in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas führte, die folgende Merkmale aufwies:

- Mit dem Einflug in den Talkessel war es aufgrund des Flugweges, der annähernd in der Talmitte verlief, nicht mehr möglich, auf sichere Art und Weise eine Umkehrkurve zu fliegen oder einen anderen Flugweg als über den Segnespass zu wählen.
- Die geringe Überhöhung gegenüber dem Segnespass während des Anfluges auf den Pass hätte zwangsläufig eine Überquerung der Gebirgskette in geringer Höhe bedeutet, denn die Flugbesatzung hatte sich nicht zu einem Steigflug entschieden.

Damit stand diese Flugwegwahl im Widerspruch zu den elementaren Grundsätzen des Gebirgsfluges, wie sie jedem Piloten bereits in der Basisausbildung vermittelt werden. Eine zentrale Regel dabei lautet, dass während des gesamten Fluges jederzeit ein oder mehrere Auswege bestehen müssen, falls überraschend eine neue Situation eintritt. Konkret bedeutet dies, dass jederzeit genügend Manövrierraum für eine Umkehrkurve oder einen alternativen Flugweg bestehen muss, wenn zum Beispiel das Flugzeug von Abwinden erfasst wird, ein technisches Problem auftritt oder plötzlich Hindernisse wie Wolken oder andere Luftfahrzeuge auftauchen. Des Weiteren ist es entscheidend, dass beim Gebirgsflug genügend Ab-

stand zum Gelände vorhanden ist. Turbulenzen bis hin zu rotorförmigen Strömungen sind vor allem unterhalb von Kreten ausgeprägt, was zur Folge hat, dass die damit einhergehenden Risiken durch einen ausreichenden Abstand zum Gebirge verringert werden können. Es ist allgemein anerkannt, dass die gesetzlich vorgegebene Minimalhöhe über unbewohntem Gebiet von 150 m über Grund im Gebirgsflug keine ausreichende Sicherheit gewährleistet. So wird denn auch auf der Luftfahrtkarte der Schweiz für die Hauptrouten über die Alpen eine minimale Flughöhe empfohlen, die 300 m über der zu überfliegenden Passhöhe liegt. Die Erfahrung zeigt, dass je nach Kombination von Topografie und Wetterverhältnissen noch grössere Minimalhöhen für einen sicheren Gebirgsflug notwendig sind.

Im Folgenden soll nun der Frage nachgegangen werden, warum die beiden sehr erfahrenen und gut ausgebildeten Piloten das Flugzeug auf eine derart hochriskante Weise in den Talkessel südwestlich des Piz Segnas steuerten und damit die Voraussetzungen für den Unfall schufen.

Die Untersuchung konnte zweifelsfrei belegen, dass beide Piloten die oben dargelegten elementaren Grundsätze des Gebirgsfluges kannten und damit nicht aus Unwissen in diese Situation gerieten. Weiter konnte ausgeschlossen werden, dass die Piloten durch eine falsche Anzeige des Höhenmessers beim Einflug in den Talkessel über ihre wahre Höhe getäuscht wurden. Die Videoaufnahmen der Höhenmesseranzeigen während des Unfallfluges belegen, dass die Höhenmesser auf einen passenden Referenzluftdruck eingestellt waren. Ein Vergleich dieser Anzeigen mit der tatsächlich geflogenen Höhe, die über Radardaten und fotogrammetrische Messungen ermittelt wurde, lassen den Schluss zu, dass die Höhenmesser bezüglich dieses Referenzluftdrucks korrekte Anzeigen lieferten und damit die tatsächliche Höhe aufgrund des Temperaturverlaufs in der Atmosphäre grösser war, als die auf den Höhenmessern angezeigte. Aus den vorliegenden Daten kann geschlossen werden, dass die Besatzung beim Einflug in den Talkessel auf einer tatsächlichen Höhe von 2750 m/M im Cockpit eine Höhe von ungefähr 2650 m/M angezeigt erhielt. Die beiden Piloten verfügten als ehemalige Luftwaffenpiloten über weitreichende Geografiekenntnisse und kannten die Höhen aller wesentlichen Alpenpässe, da diese im Laufe der Ausbildung zum Militärpiloten intensiv vermittelt werden. Es darf deshalb vorausgesetzt werden, dass der Flugbesatzung, auch ohne eine Karte zu benutzen, die Höhe von 2625 m/M des vor ihnen liegenden Segnespasses bekannt war. Dies wiederum lässt den Schluss zu, dass der Einflug in den Talkessel als Folge einer bewussten Entscheidung erfolgt ist. Möglich ist aber auch, dass die Besatzung die Höhenmesser gar nicht beachtete, sondern rein nach visuellen Eindrücken beschloss, in den Talkessel zu fliegen, wie es beim Fliegen im Gebirge häufig praktiziert wird.

Dieses risikoreiche Verhalten lässt sich letztlich aus der Kombination von fliegerischer Ausbildung und einer Entwicklung der beiden Piloten in der Betriebskultur von Ju-Air nachvollziehen, die schliesslich zu einer Gewöhnung an solche Situationen führte. In den Monaten und Jahren vor dem Unfallflug sind verschiedene sicherheitskritische Flüge dokumentiert, bei denen die Piloten A und B einzeln oder zum Teil gemeinsam sicherheitsrelevante Vorgaben nicht einhielten und Regelbrüche begingen:

- Auf dem Flug von Dübendorf nach Locarno am 3. August 2018 führte Pilot B das Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, mehrfach riskant nahe an Bergflanken vorbei oder flog es unter der vorgeschriebenen Mindestflughöhe.

- Am 6. Juli 2018 überflog Pilot A als verantwortlicher Pilot zusammen mit dem als Copilot fungierenden Piloten B im Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, das Stadtgebiet von München in einer Höhe, die erheblich unterhalb der erforderlichen Mindestflughöhe lag.
- Die analysierten Flüge von Ju-Air zwischen April 2018 und dem Unfalltag belegen, dass Pilot A bei mindestens sechs Flügen als Besatzungsmitglied fungiert hat, während deren das Flugzeug hochriskant geführt wurde. Bei vier dieser Flüge war er zusammen mit dem Piloten B eingesetzt.
- Die analysierten Flüge von Ju-Air zwischen April 2018 und dem Unfalltag belegen, dass Pilot B bei mindestens acht Flügen als Besatzungsmitglied eingesetzt war, während deren das Flugzeug hochriskant geführt wurde. Bei vier dieser Flüge war er zusammen mit dem Piloten A eingesetzt.
- Am 6. Juli 2013 überflog Pilot B als verantwortlicher Flugzeugführer zusammen mit dem Piloten A als Copilot mit dem Schwesterflugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOP, die Krete des Segnespasses auf hochriskante Weise. Dabei näherte er sich im Steigflug und ohne dass die Möglichkeit einer Umkehrkurve bestand, der Krete und konnte diese schliesslich mit einer Überhöhung von lediglich 30 m queren.

Wie ein roter Faden zieht sich durch diese Ereignisse die Tendenz der beiden Besatzungsmitglieder, Regeln für einen sicheren Flugbetrieb als für sich nicht verbindlich anzusehen[39] oder hohe Risiken einzugehen. Dieses Verhalten ist durch weitere Beispiele belegt, die in Anlage A1.5 ersichtlich sind. In der gleichen Anlage sind weitere mögliche Erklärungen für die beobachteten Handlungen aufgeführt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass es bei den am Unfalltag vorherrschenden Verhältnissen problemlos möglich war, den Talkessel südwestlich des Piz Segnas auf angemessener Höhe zu durchfliegen und über die Krete des Segnespasses auf die Nordseite der Alpen zu gelangen. Neben allen analytischen Abklärungen, die zu dieser Schlussfolgerung führen, wird diese Tatsache dadurch illustriert, dass nur rund eine Minute vor dem Unfall der HB-HOT ein Flugschüler und ein Fluglehrer an Bord eines Motorflugzeuges des Musters Cessna C152 die Krete des Segnespasses von Süden nach Norden überfliegen konnten. Dabei wählte die Besatzung einen lateralen Flugweg, der jederzeit eine Umkehrkurve oder einen alternativen Flugweg gestattet hätte. Allerdings wurde auch dieses Flugzeug auf einer Höhe über die Krete geführt, die nicht den Regeln für einen sichereren Gebirgsflug, wie sie im Luftfahrthandbuch der Schweiz (*Aeronautical Information Publication* – AIP) veröffentlicht sind, entsprach. Die Flugbesatzung der verunfallten Junkers Ju 52/3m g4e war sich nachweislich gewohnt, anerkannte Regeln für einen sicheren Flugbetrieb zu missachten und hohe Risiken einzugehen, was zur beschriebenen Flugtaktik geführt hat. Diese Gewohnheit stellt deshalb einen direkt zum Unfall beitragenden Faktor dar.

[39] Das *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* der amerikanischen Aufsichtsbehörde *Federal Aviation Administration* (FAA), 2016, beschreibt sinngemäss übersetzt eine solche gefährliche Haltung wie folgt: Antiautoritär: Diese Haltung findet sich vor allem bei Menschen, die sich nicht gerne von anderen sagen lassen, was sie zu tun haben. In gewisser Weise sagen sie sich: *«Niemand darf mir sagen, was ich zu tun habe».* Es kann sein, dass sie sich ärgern, wenn sie jemanden haben, der ihnen Anweisungen gibt, wie sie sich zu verhalten haben oder sie betrachten Regeln, Vorschriften und Verfahren als dumm und unnütz. Dabei ist es Ihr Recht, Autorität in Frage zu stellen, wenn Sie erkennen, dass diese sich im Irrtum befindet.

2.4 Systemische Aspekte

2.4.1 Allgemeines

Eine umfassende Sicherheitsuntersuchung darf sich nicht einzig auf die Ermittlung der direkten Ursachen und der beitragenden Faktoren eines Unfalls konzentrieren. Besonders mit Blick auf mögliche Verbesserungen der Sicherheit liefert die Analyse von systemischen Aspekten meist den grössten Handlungsbedarf. Dies hat sich auch im vorliegend untersuchten Unfall gezeigt und zu mehreren Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweisen geführt.

2.4.2 Organisation und Führung des Flugbetriebes

2.4.2.1 Analyse der Gebirgsflugtaktik der Flugbesatzungen

Das Flugbetriebsunternehmen führte bis zum Unfall keinerlei Auswertung bzw. Überwachung seines Flugbetriebes anhand realer Flugdaten durch. Ein solches *Flight Data Monitoring* wird heute im gewerblichen Flugbetrieb häufig verwendet, um ein realistisches Bild des Betriebes zu erhalten und damit betriebliche Mängel frühzeitig entdecken zu können.

Die Untersuchung der SUST wertete die Radardaten von 216 der insgesamt über 400 Flüge aus, die von Ju-Air von April 2018 bis zum Unfalltag durchgeführt wurden. Dabei wurde insbesondere das Vorgehen der Flugbesatzungen im Gebirgsflug in Bezug auf eine sichere Flugführung analysiert, wobei mit Blick auf die Eigenschaften und den technischen Zustand der Flugzeuge der Ju-Air vor allem Flugphasen, die für längere Zeit keine Möglichkeit einer Umkehrkurve oder eines alternativen Flugweges boten, als hochriskant eingestuft wurden. Mindestflughöhen alleine sind beim Fliegen im Gebirge ein wenig taugliches Mittel, um Gefahrensituationen beurteilen zu können, weil immer auch der Energiezustand und die Leistungsfähigkeit eines Luftfahrzeuges berücksichtigt werden müssen. So wurde denn auch bei der Auswertung der Flüge stets eine Beurteilung der Gesamtsituation vorgenommen.

Im Rahmen dieser Flugauswertung wurden zahlreiche Situationen festgestellt, bei denen die Flugzeuge der Ju-Air im Gebirge in einem Höhenbereich unter 300 Meter über Grund betrieben wurden. Solche Situationen können in einem sicherheitsbewussten Flugbetriebsunternehmen erfasst und analysiert werden, damit eine risikoarme Flugführung im Gebirge sichergestellt werden kann. Im Rahmen dieser Untersuchung wurden solche Ereignisse allerdings nur statistisch ausgewertet. Im Detail untersucht wurden hingegen 44 Situationen, die im Rahmen von 36 Flügen festgestellt werden konnten. In diesen Fällen bestand eine hohe Unfallwahrscheinlichkeit, weil die Flugbesatzungen hohe Risiken eingingen.

Die Analyse dieser Situationen im Flugbetrieb von Ju-Air zeigt, dass häufig Flugwege gewählt wurden, die bei Auf- und Abwinden oder technischen Störungen keinen Ausweg oder keine Umkehr mehr ermöglicht hätten. Auch wurden Flughöhen gewählt, die bei solchen Einschränkungen kaum Handlungsspielraum mehr geboten hätten. Weiter wurde festgestellt, dass die Flugbesatzungen oft sehr nahe an Felswänden und Bergflanken vorbeiflogen. Damit gingen die betreffenden Flugbesatzungen systematisch einfach zu vermeidende Risiken ein und gefährdeten damit Menschen und Material. Da kein Zweifel darüber bestehen kann, dass den erfahrenen und gut qualifizierten Besatzungen des Flugbetriebsunternehmens die elementaren Grundsätze des Gebirgsfluges und auch die allgemeinen luftrechtlichen Bestimmungen für den Sichtflug bekannt waren, müssen solche Verhaltensweisen im Sinne des durch das Flugbetriebsunternehmen und das Bundesamt für Zivilluftfahrt angewendeten Schemas der *Just Culture* als waghalsige Verstösse (*reckless violation*) eingestuft werden.

Eine Analyse des Werdeganges der Flugbesatzungen, die aus Sicht der Sicherheitsuntersuchung Regelbrüche begangen hatten, zeigt, dass sich vor allem Flugbesatzungen mit einer Ausbildung als Luftwaffenpiloten häufig nicht an allgemein anerkannte Grundsätze für eine sichere Flugführung im Gebirge hielten.

Es ist naheliegend, dass die im Flugbetriebsunternehmen verbreitete Gewohnheit der Flugbesatzungen, systematisch anerkannte und gesetzliche Regeln der Luftfahrt nicht einzuhalten oder hohe Risiken einzugehen, auch die Piloten A und B beeinflusst hat. Aus diesem Grund wird diese Gewohnheit zum Regelbruch als systemisch beitragender Faktor zum Unfall gewertet.

Mehrere Kaderpiloten von Ju-Air fielen wiederholt durch Regelbrüche auf und waren in Flüge mit risikoreicher Flugwegwahl involviert. Es gibt hingegen keinen Hinweis darauf, dass diese hochriskante Art des Fliegens von den Verantwortlichen des Flugbetriebsunternehmens aktiv gefördert wurde. Diese waren aber aufgrund fehlender Kontrollmechanismen nicht in der Lage, die systematische Verletzung von sicherheitskritischen Regeln zu erkennen, was ebenfalls einen systemisch beitragenden Faktor in diesem Unfall darstellt.

2.4.2.2 Ausbildung und Leistungsüberprüfungen

Das Ausbildungsprogramm zur Erlangung der Musterberechtigung (*Type Rating*) Junkers Ju 52 wurde insbesondere im Hinblick auf die im Unfall relevanten Aspekte analysiert. So wurden die Flugbesatzungen im Rahmen dieser Schulung mit dem Verhalten des Flugzeugmusters bei einer Annäherung an den Strömungsabriss (*stall*) und bei einem Strömungsabriss im langsamen Geradeausflug vertraut gemacht und hinsichtlich der notwendigen Gegenmassnahmen (*stall recovery*) geschult. Diese Übungen geschahen mit relativ leichten Flugzeugen und mit vorne liegender Schwerpunktlage, denn es war jeweils lediglich die Flugbesatzung an Bord. Um die Flugzeuge zu schonen, wurde auf Übungen zum Erfahren des Abrissverhaltens im Kurvenflug und mit Flugzeugen, die normal beladen waren, verzichtet. Auch wenn dieses Vorgehen durchaus nachvollziehbar ist, so ist doch anzumerken, dass das Verhalten eines Flugzeuges bei einem Strömungsabriss stark von dessen Beladungszustand abhängt. Weiter unterscheidet sich das Verhalten im Kurvenflug oder in einer Situation mit erhöhter Geschwindigkeit und Beschleunigung wesentlich von demjenigen im gleichförmigen Geradesausflug. Selbst wenn der Umstand, dass die Flugbesatzungen bezüglich des Verhaltens der Flugzeuge bei einem Strömungsabriss nicht mit allen kritischen Situationen vertraut gemacht worden waren, nicht nachweislich zum vorliegend untersuchten Unfall beigetragen hat, sollte er als risikoerhöhender Faktor (*factor to risk*) künftig verbessert werden.

Auch die periodischen Befähigungsüberprüfungen zur Aufrechterhaltung der Musterberechtigung (*proficiency check*) sowie die Streckenflugüberprüfungen (*line check*) durch *Training Captains* von Ju-Air wurden in Bezug auf die verunfallten Piloten A und B untersucht. Es fällt auf, dass auf den entsprechenden Nachweisdokumenten kaum je Kritik oder Verbesserungsvorschläge verzeichnet sind und die Pilotenleistungen stets als gut bis sehr gut ausgewiesen wurden. Der letzte *line check* des Piloten A am 7. April 2018 und derjenige des Piloten B am 12. Mai 2018, dessen Radardaten noch verfügbar waren und ausgewertet werden konnten, zeigten, dass auch auf diesen Flügen Sicherheitshöhen, die im VFR-*Guide* des Luftfahrthandbuches (*Aeronautical Information Publication* – AIP) dargelegt sind, deutlich unterschritten wurden. Zudem wurde den wesentlichen Grundsätzen für einen sicheren Gebirgsflug keine Beachtung geschenkt. Trotzdem bewertete der *Training Captain*, der auch Lehrberechtigter für Musterberechtigung und Prüfer auf Ju 52 war, den Flug des Piloten A als gut bis sehr gut (*standard to high standard*) und kritisierte die gemachten Fehler nicht. Die Flugwegwahl wurde ausdrücklich

als *«angepasst»* und *«vernünftig»* beschrieben. Die Leistung des Piloten B wurde als sehr gut (*high standard*) bewertet und die Flugwegwahl wurde als *«rücksichtsvoll»* und *«vorausschauend»* bezeichnet. Damit wurde einerseits eine Chance verpasst, die Piloten A und B auf das Nichteinhalten von Sicherheitsregeln aufmerksam zu machen, was möglicherweise einen positiven Einfluss auf sie gehabt hätte. Andererseits zeigen die Fälle auch exemplarisch, dass Leistungsüberprüfungen wenig kritisch und ohne Fehler zu benennen durchgeführt wurden.

2.4.2.3 Sicherheitsmanagementsystem

Eine Analyse des von Ju-Air verwendeten Sicherheitsmanagementsystems zeigte, dass dieses formell die für ein gewerbliches Flugbetriebsunternehmen üblichen Aspekte umfasste und in dieser Form auch vom Bundesamt für Zivilluftfahrt genehmigt worden war.

Bei der Umsetzung bzw. Anwendung des Sicherheitsmanagementsystems wurden hingegen beträchtliche Mängel festgestellt. So fiel auf, dass wesentliche Risiken, wie die spezifischen Herausforderungen im Sichtflug oder die Gefahren beim Fliegen im Gebirge mit einem Verkehrsflugzeug, nie erhoben und analysiert worden waren. Auch die Aufsichtsbehörde hat nie eine solche Risikobeurteilung verlangt. Damit konnten auch keine Abhilfemassnahmen zur Minderung dieser Risiken entwickelt und angewendet werden, so dass sich diese Risiken im vorliegend untersuchten Unfall auswirken konnten.

Im Rahmen der Untersuchung wurden rund 150 sicherheitsrelevante Ereignisse im Flugbetrieb von Ju-Air analysiert und in Bezug auf ihre Behandlung im Rahmen des Sicherheitsmanagementsystems beurteilt. Dabei wurde unter anderem festgestellt, dass die Meldung von mindestens neun schweren Vorfällen zwischen dem Jahr 2000 und dem Unfallzeitpunkt an die zuständigen Sicherheitsuntersuchungsstellen und zahlreiche Meldungen an die Aufsichtsbehörden unterblieben waren. In vielen Fällen wurden die sicherheitsrelevanten Ereignisse innerhalb der Ju-Air nur ansatzweise untersucht oder konnten von den eigentlich zuständigen staatlichen Stellen nicht untersucht werden, weil sie diesen nicht bekannt waren. Damit war es nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich, aus diesen Zwischenfällen zu lernen und vergleichbare Situationen künftig zu vermeiden. Es ist denn auch nicht erstaunlich, dass sich ähnlich gelagerte Fälle oft wiederholten. Die unzureichende Meldedisziplin und die mangelhafte Analyse von Zwischenfällen haben zum vorliegend untersuchten Unfall systemisch beigetragen, weil davon ausgegangen werden kann, dass bei konsequenter Handhabung durch die zuständigen Personen und Organisationen eine Verbesserung der Sicherheit resultiert hätte.

Neben den Zwischenfällen, die ein hohes Risiko umfassten, fiel auch auf, dass die erfahrenen und gut qualifizierten Flugbesatzungen oft Fehler im Bereich der fliegerischen Grundlagen begingen. So wurden selbst in den Lufträumen um Militärflugplätze, die insbesondere den Piloten mit einer Ausbildung als Luftwaffenpiloten vertraut gewesen sein dürften, oft Luftraumverletzungen verzeichnet. Diese Art von Fehler deutet auf mangelhafte Kenntnis der geltenden Regeln oder eine unzureichende Zusammenarbeit der Flugbesatzungen (*Crew Resource Management* – CRM) hin. Auch wenn dieser Umstand nicht nachweislich zum vorliegend untersuchten Unfall beigetragen hat, sollte er als risikoerhöhender Faktor (*factor to risk*) künftig verbessert werden.

Das interne Kontroll- und Auditwesen der Ju-Air, das in den Büchern des Betreibers zwar existierte und das zu viel formellem Aufwand führte, vermochte diverse Missstände bei Ju-Air nicht zu erkennen, weil es nicht zweckmässig angewendet wurde. Dazu zählen insbesondere die mangelhaften internen Überprüfungen zur Konformität der Geschäftstätigkeiten mit den gesetzlichen Normen zur Erreichung des geforderten Sicherheitsniveaus für gewerblichen

Luftverkehrsbetrieb und mit den selbst definierten Prozessen (*Compliance Monitoring*), die fehlenden Flugleistungsberechnungen und die verschiedenen Fehler in der Software für die Berechnung von Masse und Schwerpunktlage.

Gesamthaft entstand der Eindruck, dass ein Grossteil der Verfahrensvorgaben des Flugbetriebsunternehmens und insbesondere auch das Sicherheitsmanagementsystem vor allem aus formellen Gründen, d. h. weil es vom Gesetzgeber so gefordert wurde, erstellt worden war. Eine konsequente und sicherheitsbewusste Anwendung dieser Vorgaben konnte hingegen nicht erkannt werden. Dies zeigt sich unter anderem auch daran, dass als Verantwortliche für die Sicherheit (*Safety Manager*) und für das Sicherstellen einer regelkonformen Anwendung der betriebsinternen und gesetzlichen Regeln (*Compliance Monitoring Manager*) Personen eingesetzt wurden, die zwar gutwillig und motiviert waren, aber nicht über eine ausreichende Kompetenz in fachlicher und methodischer Hinsicht verfügten. In diesem Zusammenhang fällt auf, dass ausgerechnet für diese beiden sicherheitskritischen Funktionen in einem Flugbetriebsunternehmen keinerlei gesetzliche Vorgaben existierten, die ausreichende Fähigkeiten sicherstellen würden. Dieser Mangel hat nicht nachweislich zum vorliegend untersuchten Unfall beigetragen, sollte aber als risikoerhöhender Faktor (*factor to risk*) künftig verbessert werden.

Letztlich blieb das Sicherheitsmanagementsystem wie auch die unmittelbare Führungstätigkeit der Verantwortlichen des Flugbetriebsunternehmens in Bezug auf die Risiken, die sich schliesslich im Unfall ausgewirkt haben, wirkungslos, was ebenfalls als systemisch beitragender Faktor in diesem Unfall zu betrachten ist.

2.4.3 Organisation und Durchführung der Instandhaltung

2.4.3.1 Motoren

Die Bayrischen Motorenwerke als Hersteller der Neunzylinder-Sternmotoren des Baumusters BMW 132 A3, die in den Flugzeugen Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air eingebaut waren, sahen vor, dass diese Triebwerke alle 200 bis 300 Betriebsstunden eine Grundüberholung benötigen würden. Nach der Aufnahme des zivilen Betriebs gelang es dem Flugbetriebsunternehmen, vom Bundesamt für Zivilluftfahrt die Erlaubnis zu erwirken, die Betriebszeit zwischen zwei Grundüberholungen schrittweise auf 1500 Stunden zu erhöhen. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Instandhaltung des Flugzeugmusters und insbesondere der Motoren eingehend untersucht. Im Betrieb erreichten die Motoren, die in Abweichung von den Herstellervorgaben vom Bundesamt für Zivilluftfahrt bewilligten Betriebszeiten von 1500 Stunden nie und es wurden laufend Reparaturen und insbesondere das Auswechseln von wichtigen Komponenten notwendig. Dies belegt, dass die Erhöhung der Betriebszeit nicht gerechtfertigt war.

Im untersuchten Zeitraum zwischen 2008 und 2018 traten an den Motoren zahlreiche Störungen auf und es wurde ein Motorausfall während des Fluges verzeichnet. In 16 Fällen musste ein Motor während des Fluges stillgelegt werden oder gab nur noch eine beschränkte Leistung ab. Auch in Bezug auf diese Zwischenfälle zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den betrieblichen Zwischenfällen, indem diese nur unzureichend im Sinne der Sicherheit analysiert und zu deren Verbesserung genutzt wurden.

Es konnte festgestellt werden, dass zumindest das verunfallte Flugzeug Junkers Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, die ursprünglich nachgewiesenen Flugleistungen nicht mehr erreichte. Aus diesem Grund stellt der Umstand, dass die Leistungsdaten der Flugzeuge über längere Zeit nicht mehr verifiziert worden waren, ein beträchtliches Sicherheitsdefizit dar, das insbesondere im Hinblick auf einen Weiterbetrieb solcher Flugzeuge behoben werden sollte.

2.4.3.2 Ersatzteilbewirtschaftung

Da Ersatzteile für die Motoren und die Zelle schon länger nicht mehr erhältlich waren, entschloss sich Ju-Air, die benötigten Teile nach Muster herstellen oder Teile aufarbeiten zu lassen. Dies geschah teilweise bei Betrieben, die nicht für den Bau von Teilen für die Luftfahrt zertifiziert waren. Damit war ein Einbau solcher Teile in ein lufttüchtiges Luftfahrzeug nicht gestattet, d. h. eine Verwendung solcher Teile führte zumindest zum formellen Verlust der Lufttüchtigkeit des betreffenden Luftfahrzeuges.

Die entsprechenden Verfahren wurden zwischen 1984 und 2001 in 41 *Service Bulletins* festgelegt, die in Ermangelung der zuständigen Hersteller durch Ju-Air erstellt wurden. Diese *Service Bulletins* wurden anschliessend dem BAZL vorgelegt, das sie genehmigte. Es fällt auf, dass ab dem Jahr 2002 diese *Service Bulletins* bis auf eines bezüglich der Prozesse und Unterauftragsnehmer nicht mehr aktualisiert wurden. Für zahlreiche neuangefertigte Bauteile wurden keine *Service Bulletins* mehr angefertigt. Damit unterblieb auch der Überprüfungs- und Genehmigungsprozess beim Bundesamt für Zivilluftfahrt.

Gesamthaft führten diese mangelhaften Abläufe und Verfahren dazu, dass sich die Flugzeuge Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air in einem nicht ordnungsgemässen Zustand befanden.

2.4.3.3 Qualitätssicherung

Der allgemeine Zustand der Flugzeuge und Motoren zeigte zahlreiche Mängel bei der Instandhaltung auf, die auf unzweckmässige Prozesse und mangelhafte Kompetenz bzw. ein unzureichendes Qualitätsbewusstsein der Verantwortlichen schliessen lassen.

Dazu kommt, dass die Verflechtung der verschiedenen Organisationen und die wenigen Personen, die darin in Personalunion meist mehrere Funktionen wahrnahmen, eine unabhängige und kritische Kontrolle der betriebsinternen Abläufe erschwert haben dürften.

In den Unterlagen zur Instandhaltung wurden zahlreiche unvollständige oder unsorgfältig ausgefüllte Dokumente festgestellt, welche die Nachvollziehbarkeit der ausgeführten Instandhaltungsarbeiten sowie der Änderungen oder Reparaturen an den Flugzeugen erschweren.

Alle diese Mängel und Unzulänglichkeiten bei der Organisation der Instandhaltung haben nicht nachweislich zum vorliegend untersuchten Unfall beigetragen. Sie stellen aber risikoerhöhende Faktoren (*factor to risk*) dar, die künftig verbessert werden sollten.

2.4.4 Aufsichtstätigkeit

2.4.4.1 Technische Zulassung

Weil seit der Inbetriebnahme des Baumusters Ju 52/3m g4e durch das Flugbetriebsunternehmen kein Hersteller und auch kein Halter des Baumusterzeugnisses mehr vorhanden war, fehlte eine diesbezügliche Unterstützung zum Erhalt der Lufttüchtigkeit. Das Bundesamt für Zivilluftfahrt teilte damals die Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air in die Standardkategorie ein. Die Gründe für diese ursprüngliche Einteilung konnte das BAZL nicht mehr nachvollziehbar darlegen. Tatsache ist aber, dass zumindest nach der nationalen Verordnung über die Lufttüchtigkeit von Luftfahrzeugen (VLL) das Flugzeugmuster Ju 52/3m g4e in die Sonderkategorie gehört hätte und deshalb durch die Aufsichtsbehörde falsch zugelassen war.

Diese Einteilung aus dem Jahr 1985 wurde vom Bundesamt für Zivilluftfahrt nicht hinterfragt, obwohl sich in den 33 Jahren bis zum Unfall die nationalen und supranationalen Regelwerke weiterentwickelt haben. Insbesondere der Übergang zu den Vorgaben der *Joint Aviation Requirements* (JAR) in den 90er-Jahren und der Wechsel zu den europäischen Betriebsregeln (EASA-OPS/EU-OPS), die jeweils auch Ju-Air bezüglich der Durchführung ihres gewerblichen Luftverkehrsbetriebs betrafen, hätten Anlass geboten, die bestehende Situation kritisch zu prüfen.

Als Konsequenz erkannte das Bundesamt für Zivilluftfahrt nicht, dass eine wesentliche Grundvoraussetzung für einen gewerblichen Luftverkehrsbetrieb nicht gegeben war.

2.4.4.2 Technische Inspektionstätigkeit

Es fällt auf, dass die Lufttüchtigkeitsinspektionen des Bundesamtes für Zivilluftfahrt am verunfallten Flugzeug HB-HOT während mehrerer Jahre keine Mängel zutage brachten. Auch bezüglich der gesamten Instandhaltung fanden die Inspektoren des BAZL seit 2010 nichts, das sie zu beanstanden gehabt hätten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Inspektoren nur die formalen Aspekte überprüften und nur ein sehr beschränkter Austausch von Informationen zwischen den Fachabteilungen des BAZL, die bei Ju-Air verschiedene Bereiche betreuten, stattfand. Auch fehlte den eingesetzten Inspektoren das Fachwissen, um diese etwas speziellen Baumuster und deren Eigenheiten ausreichend verstehen zu können. Somit waren sie auf die Personen der Instandhaltungsbetriebe angewiesen und vertrauten offenbar wenig kritisch auf deren Fachkenntnisse und Professionalität.

Die technische Aufsichtstätigkeit hatte einen weitgehend formalen Charakter und die tatsächlichen Gegebenheiten wurden wenig beachtet und überprüft. Zudem wurden selbst die offensichtlichen und zahlreichen Unzulänglichkeiten bei der Dokumentation und Bewirtschaftung von Ersatzteilen nicht erkannt und beanstandet.

Bei der Organisation zur Führung der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit und in den Instandhaltungsbetrieben wurden bei Audits gelegentlich Mängel von der Aufsichtsbehörde erkannt und beanstandet. Diese Beanstandungen wurden vom entsprechenden Betrieb jedoch teilweise nicht behoben, was das BAZL beim nächsten Audit erneut eine Verbesserung fordern liess. Bis zum Unfallzeitpunkt wurden diese Beanstandungen nicht korrigiert.

Da der technisch nicht ordnungsgemässe Zustand des Flugzeuges Ju 52/3m g4e, eingetragen als HB-HOT, keinen nachweisbaren Einfluss auf die Entstehung des Unfalls hatte, ist auch die mangelhafte Wirksamkeit der technischen Aufsicht nicht als kausal zu werten. Sie stellt aber einen risikoerhöhenden Faktor (*factor to risk*) dar, der künftig verbessert werden sollte.

2.4.4.3 Betriebliche Zulassung

Analysiert man die Anwendung der supranationalen Vorgaben auf die Zulassung des Flugbetriebsunternehmens zum gewerblichen Luftverkehr, so ist zunächst festzuhalten, dass die europäische Verordnung 965/2012 für jeglichen gewerblichen Luftverkehr gilt, unabhängig davon, ob dieser nach Instrumentenflugregeln (*Instrument Flight Rules* – IFR) oder nach Sichtflugregeln (*Visual Flight Rules* – VFR) durchgeführt wird. Das BAZL duldete es, dass Ju-Air von den für den gewerblichen Betrieb geforderten Mindestflughöhen sowie von weiteren Anforderungen abwich. Diesbezüglich herrschten im BAZL unterschiedliche Auffassungen. Zum einen war man der Ansicht, dass die Anforderungen der europäischen Verordnung 965/2012 in diesen Bereichen für den Betrieb nach Sichtflugregeln nicht anwendbar seien. Andere Verantwortliche des BAZL waren hingegen von der Anwendbarkeit der Regeln für jeglichen gewerblichen Luftverkehr überzeugt, somit

auch für den Luftverkehrsbetrieb von Ju-Air. Diese Verantwortlichen stellten sich aber auf den Standpunkt, dass die Schweiz Ausnahmen gewähren dürfe. Das BAZL habe diese Abweichungen aber einfach stillschweigend gewährt und es unterlassen, diese entsprechend zu dokumentieren und den europäischen Instanzen mitzuteilen.

Ziel des europäischen Regelwerks und damit auch des in Frage stehenden Verordnungstextes ist es, für den gewerblichen Luftverkehrsbetrieb ein entsprechend hohes Sicherheitsniveau sicherzustellen. Im vorliegenden Fall führten die vom BAZL akzeptierten Ausnahmen dazu, dass die Flugzeuge von Ju-Air mit einem wesentlich tieferen Sicherheitsniveau betrieben wurden, das nicht demjenigen für einen gewerblichen Luftverkehrsbetrieb entsprach.

Eine Analyse des auf den einschlägigen Rechtsgrundlagen basierenden Betriebshandbuchs (*Operations Manual* – OM) des Flugbetriebsunternehmens zeigt, dass dieses im Bemühen erstellt worden war, die Vorgaben der EASA und des BAZL so gut wie möglich zu erfüllen. Das umfangreiche Werk vermag aber vom Standpunkt der Sicherheit aus nicht zu überzeugen, da es die wesentlichen Risiken des Sichtflugbetriebs und insbesondere diejenigen, die sich in diesem Unfall ausgewirkt hatten, nicht zu erfassen und zu verringern vermocht hat. Gesamthaft zeigt sich, dass die gewählte Regulierungsform und auch die damit verbundene Aufsicht dieser Art von Betrieb nicht angepasst waren. Sie führte in ihrer Konsequenz lediglich zu grossem formellem Aufwand, der in Bezug auf die wesentlichen Probleme wirkungslos blieb.

Damit waren letztlich die Voraussetzungen für einen gewerblichen Luftverkehrsbetrieb nicht gegeben. Unter Einhaltung der supranationalen Vorgaben wäre der Unfallflug bezüglich Start, der gewählten Flughöhe und der Flugroute nicht durchzuführen gewesen. Der Umstand, dass dies trotzdem geschah, muss als systemische Ursache für den Unfall gewertet werden.

2.4.4.4 Betriebliche Aufsicht

Im Rahmen der betrieblichen Aufsicht wurden die Flugzeuge von Ju-Air in den Jahren vor dem Unfallflug auch sechs Mal einer nicht angekündigten Vorfeldinspektion durch das BAZL unterzogen. Bei diesen Inspektionen sollte gemäss dem Verfahren standardmässig auch die Masse- und Schwerpunktberechnung auf Korrektheit überprüft werden. Es ist bis zu einem gewissen Grad nachvollziehbar, dass im Rahmen dieser Überprüfungen Berechnungs- und Programmierfehler des von Ju-Air verwendeten Flugplanungsprogramms nicht erkannt wurden. Hingegen ist schwer nachvollziehbar, dass keiner der Inspektoren die offensichtlichen Fehler, wie beispielsweise falsche Leermassen (*Basic Empty Mass* – BEM), die einfach zu erkennen gewesen wären, feststellte. Auch anlässlich der Fluginspektion vom 13. September 2016 fielen dem Inspektor des BAZL die falschen verwendeten Masse- und Hebelarm-Werte für das *Basic Aircraft* nicht auf. Dies dürfte kaum auf mangelnde Fachkenntnisse zurückzuführen sein, da es zu den grundlegenden Fähigkeiten eines jeden Piloten[40] gehört, solche Berechnungen korrekt durchführen oder diese überprüfen zu können. Vielmehr zeigt sich hier eine wenig kritische Arbeitsweise bei der Aufsichtstätigkeit. In diesem Fall konnte sich dies besonders gefährlich auswirken, weil es nicht dazu beitrug zu verhindern, dass die HB-HOT auf dem Unfallflug eine risikoreiche Schwerpunktlage aufwies, was als systemisch beitragender Faktor zu bezeichnen ist.

[40] Die betrieblichen Inspektoren des BAZL verfügen über einen fundierten Hintergrund als Verkehrspiloten.

Die Inspektoren des BAZL inspizierten in der Regel jährlich einige Leistungsüberprüfungen bei Flügen ohne Passagiere, verzichteten aber weitgehend auf Fluginspektionen des eigentlichen Flugbetriebs. Damit gewannen sie nur einen eingeschränkten Einblick in den realen Flugbetrieb. Anlässlich einer dieser seltenen Fluginspektionen, bei denen ein Inspektor des Bundesamtes für Zivilluftfahrt einen Gebirgsflug mit Passagieren beaufsichtigte, wurde mehrfach deutlich unterhalb der Sicherheitsüberhöhung von mindestens 1000 ft AGL (300 m/G) geflogen. Zudem wurde wesentlichen Grundsätzen für einen sicheren Gebirgsflug keine Beachtung geschenkt. Die Flugwegwahl widersprach deutlich den vom BAZL verfassten Richtlinien für Flüge in den Alpen, wie sie im Luftfahrthandbuch der Schweiz (*Aeronautical Information Publication* – AIP), VFR-*Guide* RAC 6-3 (vgl. Kapitel A1.17.6.2.2) veröffentlicht waren. Der Inspektor beanstandete den Flug aber in keiner Weise. Dies zeigt beispielhaft, dass es entweder an kritischem Urteilsvermögen oder an einer kritischen Grundhaltung der Inspektoren gegenüber den fliegerischen Fähigkeiten der erfahrenen Piloten von Ju-Air fehlte, was dazu führte, dass offensichtliche Fehler im Flugbetrieb durch die Aufsichtsbehörde nicht korrigiert wurden.

Eine Analyse der betrieblichen Inspektionen und der Audits des Bundesamtes für Zivilluftfahrt bei der Ju-Air hat gezeigt, dass vor allem die formale Existenz der vorgegebenen Verfahren im Betriebshandbuch überprüft wurde. Eine korrekte und sicherheitsbewusste Umsetzung dieser Verfahren in der Realität wurde hingegen nicht genügend wirkungsvoll überprüft. Bezüglich der teils gravierenden Verstösse von Flugbesatzungen bei Ju-Air verhielt sich die Aufsichtsbehörde ahnungslos, obwohl gelegentlich Meldungen an das BAZL Anlass zu vertieften Abklärungen geboten hätten. Bei der Gestaltung der betrieblichen Aufsicht dürfte ferner erschwerend mitgewirkt haben, dass die wesentlichen Risiken des Flugbetriebs nicht erhoben wurden und damit auch nicht in die Gestaltung der Aufsichtstätigkeit einfliessen konnten. Dazu kam, dass innerhalb der Behörde die einzelnen Fachabteilungen zwar einen institutionalisierten Austausch pflegten, zwischen den technischen Inspektoren ein solcher hingegen nur eingeschränkt stattfand. Dies führte dazu, dass es der Aufsichtsbehörde nicht gelang, ein tatsächliches Bild vom Flugbetrieb der Ju-Air zu gewinnen.

Es bleibt anzumerken, dass die Audits, welche die supranationale Aufsichtsbehörde EASA beim BAZL in den Jahren vor dem Unfall durchgeführt hatte, durchaus einige dieser Mängel, wie beispielsweise eine zu wenig in die Tiefe gehende Aufsichtstätigkeit des BAZL, an den Tag gebracht hatten. Bis zum Unfall konnten diese Befunde allerdings keine Wirkung entfalten, weil sie offenbar beim BAZL nicht zu zielführenden Korrekturmassnahmen bezüglich der Aufsicht über Ju-Air und die Instandhaltungsbetriebe geführt hatten.

Der Umstand, dass die Aufsichtsbehörde nicht in der Lage war, die zahlreichen betrieblichen Mängel und Risiken zu erkennen oder in dieser Hinsicht korrigierende Wirkung zu entfalten, muss als systemisch beitragender Faktor zum Unfall betrachtet werden.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Das Flugzeug verfügte über Ausweise, die es zum Verkehr nach Sichtflugregeln (*Visual Flight Rules* – VFR) zuliessen.
- Seit der Inbetriebnahme des Baumusters Ju 52/3m g4e mit den Motoren BMW 132 A3 durch das Flugbetriebsunternehmen war kein Hersteller bzw. kein Halter des Baumusterzeugnisses mehr vorhanden. Dies hatte zur Folge, dass die Lufttüchtigkeit vom Flugbetriebsunternehmen in Zusammenarbeit mit der Aufsichtsbehörde ohne Unterstützung durch einen Hersteller sichergestellt werden musste.
- Im Lufttüchtigkeitszeugnis waren die Flugzeuge Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air in der Lufttüchtigkeitskategorie «Standard», Unterkategorie «Normal» eingeteilt.
- Die Flugzeuge Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air hätten gemäss der zum Unfallzeitpunkt gültigen nationalen Verordnung über die Lufttüchtigkeit (VLL) in die «Sonderkategorie», Unterkategorie «Historisch» gehört.
- Die Einteilung der Flugzeuge Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air wurde seit der Gründung des Flugbetriebsunternehmens nicht mehr überprüft, obgleich die übergeordneten Vorgaben sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt hatten.
- Das Flugbetriebsunternehmen liess Ersatzteile nach Muster bei nicht für die Luftfahrt zertifizierten Betrieben anfertigen und verwendete diese Ersatzteile in den Flugzeugen des Baumusters Ju 52/3m g4e.
- In den zehn Jahren vor dem Unfall trat eine bedeutende Anzahl von Störungen an den Motoren auf.
- Der Hersteller stellte ursprünglich für die Motoren der HB-HOT eine Betriebszeit von 200 bis 300 Stunden bis zu einer Grundüberholung in Aussicht.
- Das Flugbetriebsunternehmen konnte zwischen 1985 und 2004 vom BAZL die Bewilligung für eine verlängerte Betriebszeit der Motoren von 1500 Stunden bis zu einer Grundüberholung erreichen.
- An den Motoren der HB-HOT waren teilweise wenige Betriebsstunden nach einer Grundüberholung wesentliche Reparaturarbeiten notwendig.
- Die Motoren der HB-HOT erreichten bei den Standläufen in den beiden Jahren vor dem Unfall die vom Hersteller spezifizierte Höchstdrehzahl nicht.
- Aufgrund von losen Propellerblättern traten zwischen 2012 und 2018 mehrere Fälle von starken Vibrationen während des Fluges auf.
- Die ursprünglich in den Betriebsanweisungen publizierten Flugleistungen wurden durch die HB-HOT nicht mehr erreicht.
- Für neuanzufertigende Komponenten oder aufzubereitende Teile wurden zwischen 1984 und 2001 41 *Service Bulletins* erstellt, die durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt genehmigt wurden.
- Nach 2002 wurden die *Service Bulletins* mehrheitlich nicht mehr gepflegt, d.h. Prozesse und Unterauftragnehmer wurden nicht mehr aktualisiert und dem Bundesamt für Zivilluftfahrt nicht mehr zur Genehmigung vorgelegt.

- Für zahlreiche weitere neuangefertigte Bauteile wurden keine *Service Bulletins* mehr erstellt. Für diese Bauteile wurde beim Bundesamt für Zivilluftfahrt keine Genehmigung eingeholt.
- Die Qualität der neuangefertigten und überarbeiteten Bauteile der Flugzeuge war oft mangelhaft.
- Bei Lufttüchtigkeitsinspektionen durch das BAZL wurde die HB-HOT von 2010 bis 2018 nicht beanstandet.
- Es bestanden Unzulänglichkeiten bei der Dokumentation und bei der Bewirtschaftung von Ersatzteilen.
- Die allgemein mangelhafte Aktenführung wurde anlässlich von Inspektionen durch das BAZL nie beanstandet.
- Die Personalunion von Funktionen in den Organisationen Ju-Air als Instandhaltungsbetrieb und CAMO sowie Naef Flugmotoren AG hatte zur Folge, dass die Qualitätssicherungsprozesse keine ausreichende Wirkung entfalten konnten.
- Das BAZL beanstandete wiederholt verschiedene Mängel in den Instandhaltungsbetrieben und der CAMO. Diese Beanstandungen wurden teilweise nicht behoben.
- Einige Mängel bei der Infrastruktur, in den Arbeitsprozessen und in der Verwaltung von Luftfahrzeugteilen wurden durch die Aufsichtstätigkeit des BAZL erkannt und beanstandet. Diese Mängel wurden jedoch von den Instandhaltungsbetrieben grösstenteils nicht behoben.
- Zwischen den Mitarbeitenden der Abteilung «Sicherheit Flugtechnik» des BAZL fand nur ein ungenügender Informationsaustausch über die beaufsichtigten Betriebe statt. Die Aufsichtstätigkeit der jeweiligen Inspektoren fand mehrheitlich abgegrenzt innerhalb der jeweiligen Fachgebiete statt.
- Eine spezifische, an die Situation bei Ju-Air angepasste Vorbereitung der Audits und Inspektionen fehlte. Die Audits wurden schematisch und auf formelle Aspekte ausgerichtet und vorbereitet.
- Beim BAZL fehlte seit längerer Zeit die Fachkompetenz im Bereich der Kolbenmotoren.
- An Strukturteilen des Tragflügels und des Rumpfes wurden erhebliche Korrosionsschäden festgestellt.
- Ein Unterholm des linken Tragflügels wies Schwingbrüche auf.
- Bei dem auf interkristalline Korrosion empfindlichen Material war der Oberflächenschutz ungenügend oder fehlte gänzlich.
- Das verunfallte Flugzeug HB-HOT war formell und materiell nicht lufttüchtig.
- Die im verunfallten Flugzeug HB-HOT gefundenen technischen Mängel und die Unzulänglichkeiten bei der Instandhaltung haben nicht nachweislich zum vorliegend untersuchten Unfall beigetragen.

3.1.2 Betriebliche Aspekte

- Die Grundlagen und die Flugplanungssoftware bezüglich Massen- und Schwerpunktberechnung wiesen Mängel und Fehler auf.

- Beim Betrieb des Musters Ju 52/3m g4e hielten sich vor allem Flugbesatzungen mit einer Ausbildung als Luftwaffenpiloten häufig nicht an allgemein anerkannte Grundsätze für eine sichere Flugführung im Gebirge. Insbesondere wurden systematisch sichere Flughöhen und Abstände zu Hindernissen deutlich unterschritten.
- Die wesentlichen Risiken des Flugbetriebs, die zum Unfall geführt haben, wurden weder vom Flugbetriebsunternehmen analysiert noch wurden eine solche Risikobeurteilung bzw. entsprechende Abhilfemassnahmen von der Aufsichtsbehörde je verlangt.
- Die Führung und die Überwachung des Flugbetriebes durch das Flugbetriebsunternehmen waren bezüglich der im Rahmen der Untersuchung erkannten Risiken und der begangenen Regelbrüche wirkungslos.
- Die Flugzeuge Junkers Ju 52/3m g4e von Ju-Air wurden nicht ordnungsgemäss betrieben, weil die Grundvoraussetzungen für einen gewerblichen Luftverkehrsbetrieb weder von der Zulassungs- und Aufsichtsbehörde noch vom Flugbetriebsunternehmen genügend berücksichtigt wurden.
- Erfahrene Flugbesatzungen, die im Flugbetrieb häufig Fehler im Bereich der fliegerischen Grundlagen begingen (Luftraumverletzungen, Nichteinhaltung elementarer Grundregeln), zeigten Mängel bei der betriebsspezifischen Ausbildung und in der Zusammenarbeit (*Crew Resource Management* – CRM).
- Leistungsüberprüfungen wurden durch die Verantwortlichen unkritisch und fehlerignorierend vorgenommen.

3.1.3 Flugbesatzung

- Die beiden Piloten besassen die für den Flug notwendigen Ausweise.
- Es liegen keine Anhaltspunkte für gesundheitliche Beeinträchtigungen der beiden Piloten während des Unfallfluges vor.
- Beide Piloten verfügten zum Unfallzeitpunkt über eine langjährige Gesamtflugerfahrung und ein gutes aktuales Training auf dem Unfallmuster.
- Der fliegerische Werdegang beider Piloten zeigt grosse Ähnlichkeit. Die fliegerischen Fähigkeiten beider Piloten wurden während der ganzen Laufbahn als gut bis sehr gut bewertet.
- Das Verhalten der beiden Piloten zeigt, dass sie manche Regeln für einen sicheren Flugbetrieb als für sich nicht verbindlich erachteten und auch bereit waren, hohe Risiken einzugehen.

3.1.4 Unfallflug

- Die Kenntnisse der Besatzung bezüglich Wetter im Hinblick auf den Unfallflug waren ausreichend. Die Massen- und Schwerpunktberechnung wurde nicht korrekt durchgeführt. Leistungsberechnungen für Start, Reiseflug und Landung fehlten.
- Das Flugzeug war während des gesamten Fluges steuerbar und die Motoren waren regelbar und gaben Leistung ab.
- Die Flugbesatzung wählte einen hochriskanten Flugweg, der aufgrund der geringen Flughöhe über dem Gelände und des fehlenden Drehraums keine Auswege oder Korrekturmöglichkeiten bei Fehlern, Störungen und Wettereinflüssen bot.

- Die Flugbesatzung führte das Flugzeug mit einer Geschwindigkeit, die für den gewählten Flugweg zu tief lag und damit gefährlich war.
- Der Einflug mit ungenügenden Sicherheitsmargen in für das Hochgebirge im Sommer übliche Wetterbedingungen führte zumindest zum zeitweiligen Verlust der Kontrolle über das Flugzeug.
- Während des Versuchs, die Kontrolle über das Flugzeug wiederzuerlangen, kam es zu einem Strömungsabriss durch eine zu hohe Normalbeschleunigung (*accelerated stall*), der zu einem annähernd senkrechten Aufprall führte.
- Zum Zeitpunkt des Unfalls lag die Masse des verunfallten Flugzeuges innerhalb der durch das Luftfahrzeug-Flughandbuch vorgegebenen Grenzen. Die Schwerpunktlage lag ausserhalb der hinteren Begrenzung.
- Zum Zeitpunkt des Aufpralls war die Vollgasbegrenzung eingeschaltet, was zeigt, dass die Motoren nicht mit der höchstmöglichen Drehzahl betrieben wurden.
- Der Notsender (*Emergency Locator Beacon Aircraft* – ELBA) wurde ausgelöst.

3.1.5 Rahmenbedingungen

- Die Wetterlage war für einen Sichtflug über die Alpen geeignet.
- Die Wetterentwicklung entsprach den Prognosen, wobei die Schauer- und Gewitteraktivität auf der gewählten Route eher geringer war als es aufgrund der Prognose auch möglich gewesen wäre.
- Die Entwicklung war gut zu beobachten und aufgrund des Wetters im Tessin und im Rheintal war auch jederzeit eine Umkehr oder Routenänderung möglich.
- Die Gefahren Dichtehöhe und Gewittertendenz waren bekannt und wirkten sich in Bezug auf den vorliegenden Flugverlauf nicht aus.
- Es bestanden mehrere Alternativen, falls die Bewölkung und Niederschläge am Alpenkamm den Flug über die Alpen behindert hätten.
- Die Niederschläge beschränkten sich zur Zeit der Alpenüberquerung auf einzelne schwache Schauer, die gut zu umfliegen waren.
- Die Turbulenz im Lee des Segnespasses war für einen Nachmittag mit zunehmendem Nordwind nicht aussergewöhnlich und umfasste markante und für einen geländenahen Flug gefährliche Auf- und Abwindfelder.
- Die Verfahrensvorgaben und insbesondere das Sicherheitsmanagementsystem des Flugbetriebsunternehmens hatte mehrheitlich nur formellen Charakter und wurde nicht zweckdienlich angewendet.
- Das Flugbetriebsunternehmen, die Instandhaltungsbetriebe und die Aufsichtsbehörde setzten Personal ein, das Risiken entweder nicht erkannte oder keine wirksamen Massnahmen zu deren Minderung ergriff.
- Die Meldung von Zwischenfällen bis hin zu mehreren schweren Vorfällen an die zuständigen Behörden fand mehrheitlich nicht statt. Entsprechend konnten aus solchen Ereignissen keine geeigneten Lehren oder Konsequenzen gezogen werden.
- Regulierung und Aufsicht waren dieser Art von Betrieb nicht angepasst.

- Die Tätigkeit des BAZL im Bereich von Regulierung, Zulassung und Aufsicht war bezüglich der im Rahmen der Untersuchung erkannten Risiken, Zwischenfälle und der begangenen Regelbrüche weitgehend wirkungslos.
- Die supranationale Aufsicht über die nationale Aufsichtsbehörde zeigte, dass der Umfang der Aufsichtstätigkeiten des BAZL eine tiefe Prüfung der Regeltreue bei den beaufsichtigten Betreibern nicht genügend gewährleistete.

3.2 Ursachen

Eine Sicherheitsuntersuchungsstelle muss sich zum Erreichen ihres Präventionszwecks zu Risiken und Gefahren äussern, die sich im untersuchten Zwischenfall ausgewirkt haben und die künftig vermieden werden sollten. In diesem Sinne sind die nachstehend verwendeten Begriffe und Formulierungen ausschliesslich aus Sicht der Prävention zu verstehen. Die Bestimmung von Ursachen und beitragenden Faktoren bedeutet damit in keiner Weise eine Zuweisung von Schuld oder die Bestimmung von verwaltungsrechtlicher, zivilrechtlicher oder strafrechtlicher Haftung.

3.2.1 Direkte Ursache

Der Unfall ist darauf zurückzuführen, dass nach einem Verlust der Kontrolle über das Flugzeug nicht genügend Raum vorhanden war, um dieses abzufangen, so dass es mit dem Gelände kollidierte.

Die Untersuchung hat folgende direkte kausale Faktoren für den Unfall ermittelt:

- Die Flugbesatzung führte das Flugzeug hochriskant, indem sie es in geringer Höhe und ohne Möglichkeit für einen alternativen Flugweg in ein enges Tal steuerte.
- Die Flugbesatzung wählte in Bezug auf den Flugweg eine gefährlich tiefe Fluggeschwindigkeit.

Beide Faktoren bewirkten, dass durch in solchen Situationen zu erwartende Turbulenz nicht nur ein kurzzeitiger Strömungsabriss (*stall*) mit einem Kontrollverlust, sondern auch eine ausweglose Situation entstehen konnte.

3.2.2 Direkt beitragende Faktoren

Die Untersuchung hat folgende Faktoren als direkt beitragend zum Unfall ermittelt:

- Die Flugbesatzung war sich gewohnt, anerkannte Regeln für einen sicheren Flugbetrieb nicht einzuhalten und hohe Risiken einzugehen.
- Das verunfallte Flugzeug wurde mit einer Schwerpunktlage betrieben, die ausserhalb der hinteren Begrenzung lag, was den Kontrollverlust begünstigte.

3.2.3 Systemische Ursache

Die Untersuchung hat folgende systemische Ursache für den Unfall ermittelt:

- Die Voraussetzungen für einen gewerblichen Luftverkehrsbetrieb des Flugzeuges waren vor dem Hintergrund der zum Unfallzeitpunkt geltenden Rechtsgrundlagen nicht gegeben.

3.2.4 Systemisch beitragende Faktoren

Die Untersuchung hat folgende Faktoren als systemisch beitragend zum Unfall ermittelt:

- Die Massen- und Schwerpunktberechnung der Ju 52 des Flugbetriebsunternehmens konnte aufgrund mangelhafter Arbeitsmittel nur fehlerhaft durchgeführt werden.
- Insbesondere die Flugbesatzungen des Flugbetriebsunternehmens, die eine Ausbildung als Luftwaffenpiloten aufwiesen, zeigten beim Fliegen der Ju 52 die Gewohnheit, systematisch anerkannte Regeln der Luftfahrt nicht einzuhalten und hohe Risiken einzugehen.

- Das Flugbetriebsunternehmen war nicht in der Lage, die während des Betriebes auftretenden Mängel und Risiken sowie die häufig begangenen Regelbrüche seiner Flugbesatzungen zu erkennen bzw. zu verhindern.
- Zahlreiche Zwischenfälle bis hin zu mehreren schweren Vorfällen wurden den zuständigen Stellen und Behörden nicht gemeldet, so dass diese keine sicherheitsverbessernden Massnahmen ergreifen konnten.
- Die Aufsichtsbehörde war teilweise nicht in der Lage, die zahlreichen betrieblichen Mängel und Risiken zu erkennen bzw. korrigierend einzugreifen.

3.2.5 Weitere Risiken

Die Untersuchung hat folgende risikoerhöhende Faktoren (*factors to risk*) ermittelt, die sich nicht oder nicht nachweislich auf die Entstehung des Unfalls ausgewirkt haben, aber zur Verbesserung der Flugsicherheit trotzdem beseitigt werden sollten:

- Das Flugzeug befand sich in einem nicht ordnungsgemässen technischen Zustand.
- Das Flugzeug erreichte die ursprünglich nachgewiesenen Flugleistungen nicht mehr.
- Die Instandhaltung der Flugzeuge des Flugbetriebsunternehmens war nicht zielführend organisiert.
- Die Ausbildung der Flugbesatzungen bezüglich der spezifischen Anforderungen des Flugbetriebs sowie in *Crew Resource Management* war mangelhaft.
- Die Flugbesatzungen waren bezüglich des Verhaltens der Flugzeuge bei einem Strömungsabriss nicht mit allen kritischen Situationen vertraut gemacht worden.
- Die Aufsichtsbehörde erkannte bzw. korrigierte zahlreiche technische Mängel nicht.
- Das Fachwissen der durch das Flugbetriebsunternehmen, die Instandhaltungsbetriebe und die Aufsichtsbehörde eingesetzten Personen war teilweise ungenügend.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem Unfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Nach internationalen[41] und nationalen[42] Rechtsgrundlagen richten sich alle Sicherheitsempfehlungen an die Aufsichtsbehörde des zuständigen Staates. In der Schweiz ist dies das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) oder die supranationale Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA). Die zuständige Aufsichtsbehörde hat darüber zu entscheiden, inwiefern diese Empfehlungen umzusetzen sind. Gleichwohl sind jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Flugsicherheit anzustreben.

Die SUST veröffentlicht die Antworten des zuständigen Bundesamtes oder von ausländischen Aufsichtsbehörden unter www.sust.admin.ch und ermöglicht so einen Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung der entsprechenden Sicherheitsempfehlung.

Die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle erstellte über den vorliegend untersuchten Unfall einen Zwischenbericht, der am 20. November 2018 veröffentlicht wurde. In diesem Zwischenbericht sprach die SUST die Sicherheitsempfehlung Nr. 548 und den Sicherheitshinweis Nr. 25 aus. Im Rahmen des Schlussberichts spricht die SUST die Sicherheitsempfehlungen Nr. 561 bis 567 und die Sicherheitshinweise Nr. 32 bis 37 aus.

4.1.1 Überprüfung von Korrosionsschäden und Mängel an Systemkomponenten

4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

An den Holmen, Scharnieren, Beschlägen der Tragflügel und im Bereich der Kabinenbodenplatte am Wrack der HB-HOT wurden erhebliche Korrosionsschäden gefunden. Zwei der drei Motoren waren mit neuangefertigten Nockenscheiben ausgerüstet, die Mängel aufwiesen.

Aufgrund desselben Baujahrs, der ähnlichen Betriebsart und der Betriebszeiten muss damit gerechnet werden, dass die Schwesterflugzeuge HB-HOP und HB-HOS ähnliche Mängel aufweisen.

4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 548

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) sollte in Zusammenarbeit mit dem Flugbetriebsunternehmen durch geeignete Massnahmen sicherstellen, dass die Schwesterflugzeuge HB-HOP und HB-HOS auf Korrosionsschäden und Mängel an Systemkomponenten überprüft werden.

4.1.2 Schaffung der Grundlagen einer risikobasierten und wirkungsvollen Aufsicht

4.1.2.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat gezeigt, dass die gesetzlichen Vorgaben für den Flugbetrieb mit historischen Verkehrsflugzeugen sowohl von der Aufsichtsbehörde

[41] Anhang 13 der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) sowie Artikel 17 der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Untersuchung und Verhütung von Unfällen und Störungen in der Zivilluftfahrt und zur Aufhebung der Richtlinie 94/56/EG.

[42] Artikel 48 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Februar 2015 (VSZV, SR *742.161*)

als auch vom Flugbetriebsunternehmen in erster Linie formell umgesetzt wurden. Viele der in den Handbüchern beschriebenen Prozesse bildeten die betrieblichen Vorgaben nur teilweise ab. Insbesondere waren die massgebenden Risiken des Betriebs nach Sichtflugregeln mit Flugzeugen nach Anhang II der europäischen Verordnung 216/2008 (heute entsprechend dem Anhang I der europäischen Verordnung 2018/1139) nur unvollständig berücksichtigt. Gesamthaft erwies sich die Regulierung als aufwändig und wenig an die tatsächlichen Bedürfnisse des Flugbetriebes angepasst. Unabhängig von der gewählten Organisationsform müsste diese den für einen Flugbetrieb mit Passagieren gewünschten Sicherheitsgrad gewährleisten können. Eine Konsultation zu möglichen Sicherheitsempfehlungen hat ergeben, dass auf nationaler Ebene eine Lösung gesucht werden muss. Da ein entsprechender Gesetzgebungsprozess wohl längere Zeit in Anspruch nehmen dürfte, wird ein Vorgehen in zwei Schritten empfohlen.

4.1.2.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 561

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte dafür besorgt sein, dass für den Flugbetrieb mit Passagieren unter Verwendung von Luftfahrzeugen nach Anhang I der europäischen Verordnung 2018/1139 angepasste Regeln festgelegt werden, die den für diesen Betrieb spezifischen Risiken wirkungsvoll Rechnung tragen.

4.1.2.3 Sicherheitsempfehlung Nr. 562

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte bis zur Umsetzung der Sicherheitsempfehlung Nr. 561 sicherstellen, dass im Flugbetrieb mit Passagieren unter Verwendung von Luftfahrzeugen nach Anhang I der europäischen Verordnung 2018/1139 mit einem an die Komplexität und die Grösse des jeweiligen Flugbetriebs angepassten Aufwand die für diesen Betrieb spezifischen Risiken erfasst und wirkungsvoll verringert werden.

4.1.3 Erteilung von Ausnahmebewilligungen

4.1.3.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat gezeigt, dass das Luftfahrzeug bei der zivilen Inbetriebnahme nach gesetzlichen Grundlagen kategorisiert wurde, die sich im Laufe der Zeit geändert haben. Dies führte dazu, dass die Einteilung des Baumusters zum Zeitpunkt des Unfalls nicht mehr zutreffend war. Gestützt auf die ursprüngliche Einteilung des Musters wurden verschiedene Vorgaben für die Zulassung durch Ausnahmen als nicht anwendbar erklärt. Diese Entscheide wurden auch bei grösseren Gesetzesanpassungen nicht überprüft.

4.1.3.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 563

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte bei der Zulassung von Luftfahrzeugen nach Anhang I der europäischen Verordnung 2018/1139 zur Erteilung von Ausnahmen die für diesen Betrieb spezifischen Risiken berücksichtigen und die Ausnahmebewilligungen periodisch überprüfen.

4.1.4 Überwachung des Flugbetriebs von historischen Luftfahrzeugen

4.1.4.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat nachgewiesen, dass beim Betrieb der historischen Verkehrsflugzeuge die Flugbesatzungen häufig Regelbrüche begingen und hohe Risiken in Kauf nahmen. Dieses risikoreiche Verhalten wurde weder vom Flugbetriebsunternehmen noch von der Aufsichtsbehörde entdeckt, weil eine wirksame Führung, Überwachung und Aufsicht fehlten. Zahlreiche weitere sicherheitsrelevante Ereignisse wurden sowohl vom Flugbetriebsunternehmen als auch von

der Aufsichtsbehörde entweder nicht erkannt oder dort, wo sie bemerkt wurden, nicht sicherheitsfördernd angegangen.

4.1.4.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 564

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte zusammen mit den Organisationen, die historische Luftfahrzeuge vornehmlich zum Transport von Passagieren betreiben, risikobasierte und wirkungsvolle Führungs- und Überwachungsmassnahmen festlegen, welche die spezifischen Probleme für diese Art von Betrieb frühzeitig zu erfassen und zu korrigieren vermögen.

4.1.5 Verbesserung der Organisation der Aufsichtstätigkeit

4.1.5.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat nachgewiesen, dass die Audits und Inspektionen des Bundesamtes für Zivilluftfahrt kein realitätsnahes Bild des tatsächlichen Betriebs bzw. der wirklichen Abläufe im Flugbetriebsunternehmen und in den Instandhaltungsbetrieben zu liefern vermochten. Die Aufsicht war weitgehend formal und zeigte wenig Wirkung, insbesondere weil es in der Behörde an einer kritischen Grundhaltung fehlte und der Informationsaustausch zwischen den technischen Inspektoren mangelhaft war.

4.1.5.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 565

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte seine Organisation zur Durchführung von Audits und Inspektionen dahingehend verbessern, dass ein besserer Informationsaustausch innerhalb der Behörde, eine kritische Analyse des betreffenden Unternehmens und ein Erkennen der relevanten Problemfelder wirksamer möglich werden.

4.1.6 Verbesserung der Kompetenz der Aufsichtsbehörde

4.1.6.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat aufgezeigt, dass die Mitarbeitenden des Bundesamtes für Zivilluftfahrt bei Audits und Inspektionen des Flugbetriebsunternehmens und der Instandhaltungsbetriebe oft nicht in der Lage waren, die sicherheitsrelevanten Probleme zu erfassen. Bei der Aufsicht im Bereich Technik spielte dabei hauptsächlich eine mangelnde Fach- und Methodenkompetenz bei solchen historischen Flugzeugen eine Rolle. Dies führte zu einer gewissen Abhängigkeit vom Fachwissen der Mitarbeitenden der Instandhaltungsbetriebe. Im Bereich der betrieblichen Aufsicht war die Fachkompetenz der Inspektoren wohl vorhanden, diese zeigten aber eine wenig kritische Haltung den Piloten des Luftverkehrsbetreibers gegenüber. Als Folge konnte die Aufsicht über diese Betriebe nicht genügend wirksam wahrgenommen werden.

4.1.6.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 566

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte sich für die Aufsicht über die historische Luftfahrt die notwendige Fach- und Methodenkompetenz aneignen oder von unabhängiger Seite verfügbar machen. Weiter sollte es dafür sorgen, dass die Aufsicht in wirksamer Weise ausgeübt wird.

4.1.7 Ermittlung von Leistungsdaten der grundüberholten Flugzeuge

4.1.7.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat nachgewiesen, dass gewisse Leistungs- und Betriebsdaten der Flugzeuge nicht mehr zutreffend waren oder fehlten. So konnten

beispielsweise die dokumentierten Reiseflugleistungen nicht mehr erreicht werden, es fehlten Angaben zur Manövergeschwindigkeit und die Leistungen nach einem Motorausfall waren ungenügend dokumentiert.

4.1.7.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 567

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte vor der regulären Inbetriebnahme der grundüberholten Flugzeuge des Baumusters Ju 52/3m g4e vom Flugbetriebsunternehmen verlangen, die wesentlichen Leistungsdaten zu ermitteln und die entsprechenden Dokumente anzupassen.

4.2 Sicherheitshinweise

Die SUST kann allgemeine sachdienliche Informationen in Form von Sicherheitshinweisen veröffentlichen[43], wenn eine Sicherheitsempfehlung nach der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 nicht angezeigt erscheint, formell nicht möglich ist oder wenn durch die freiere Form eines Sicherheitshinweises eine grössere Wirkung absehbar ist.

4.2.1 Überprüfung und Verbesserung der Abläufe bei der Instandhaltung

4.2.1.1 Sicherheitsdefizit

Bei der Untersuchung der Instandhaltungsarbeiten wurden verschiedene Unzulänglichkeiten insbesondere der Dokumentation bei der Ausführung von grösseren Modifikationen und bei der Bewirtschaftung von Ersatzteilen festgestellt. Solche Mängel stellen ein Risiko dar.

4.2.1.2 Sicherheitshinweis Nr. 25

Das Flugbetriebsunternehmen und die Instandhaltungsbetriebe sollten zusammen mit der Organisation zur Führung der Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit (*Continuing Airworthiness Management Organisation* – CAMO) die bestehenden Abläufe prüfen und so verbessern, dass die Nachvollziehbarkeit der Instandhaltungsarbeiten sowie eine eindeutige Ersatzteilbewirtschaftung gewährleistet sind.

4.2.2 Nachschulung der Flugbesatzungen

4.2.2.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung wies nach, dass bei den Piloten des Luftverkehrsbetreibers Ju-Air die Tendenz zu systematischen waghalsigen Verstössen gegen anerkannte Regeln der Luftfahrt (*reckless violation*) bestand. Weiter konnten bei den Flugbesatzungen nicht mehr genügend aktuale Kenntnisse elementarer fliegerischer Grundsätze wie der Struktur von Lufträumen, der Flugvorbereitung, der Masse- und Schwerpunktberechnung und der Kenntnisse der luftrechtlichen Bestimmungen erkannt werden.

4.2.2.2 Sicherheitshinweis Nr. 32

Das Flugbetriebsunternehmen sollte mit seinen Flugbesatzungen gezielte Nachschulungen bezüglich Disziplin, Einhalten von Regeln und insbesondere des sicheren Fliegens im Gebirge und der Anwendung elementarer fliegerischer Grundsätze durchführen.

[43] Artikel 56 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Februar 2015 (VSZV, SR *742.161*)

4.2.3 Verbesserung des Crew Ressource Managements

4.2.3.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat aufgezeigt, dass selbst Flugbesatzungen mit grosser Erfahrung nicht selten elementare Fehler wie Luftraumverletzungen unterliefen. Die Flugzeuge wurden oft mit zwei erfahrenen Piloten im Kapitänsrang geflogen, was diese Fehler nicht vermied. Leistungsüberprüfungen wurden gelegentlich unkritisch abgenommen und offensichtliche Fehler wurden nicht erkannt oder korrigierend thematisiert. Solches Verhalten zeigt beträchtliche Defizite in der Zusammenarbeit vor allem von gleichrangigen, erfahrenen Besatzungsmitgliedern auf.

4.2.3.2 Sicherheitshinweis Nr. 33

Das Flugbetriebsunternehmen sollte die Zusammenarbeit (*Crew Ressource Management*) seiner Flugbesatzungen dahingehend optimieren, dass sie den spezifischen Anforderungen seines Betriebs (Sichtflug, Fliegen im Gebirge, grosse Erfahrung, gleiche Rangstufe etc.) gerecht wird.

4.2.4 Verbesserung der Führungsmassnahmen im Flugbetrieb

4.2.4.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat aufgezeigt, dass im Flugbetriebsunternehmen die Flugbesatzungen nicht selten einen unverantwortlichen Umgang mit den gewährten Freiheiten pflegten, welche die betrieblichen Rahmenbedingungen boten. Dabei zeigten auch erfahrene Besatzungsmitglieder, die während langer Zeit in grossen Fluggesellschaften gearbeitet hatten, diese Form von riskantem Verhalten, und verletzten elementare Sicherheitsregeln. Die Unternehmen, in denen sie früher gearbeitet hatten, verfügten alle über wirksame Führungs- und Überwachungsmassnahmen, die ein Abweichen von der geforderten Arbeitsqualität unverzüglich an den Tag gebracht hätten. Im Flugbetriebsunternehmen Ju-Air waren hingegen keine Mittel und Werkzeuge zum Erkennen dieser Sicherheitsprobleme vorhanden. Daraus kann geschlossen werden, dass es bei Flugbesatzungen mit einer langjährigen Prägung durch eine sicherheitsbewusste Umgebung beim Wegfall von wirksamen Führungs- und Überwachungsmassnahmen zu Disziplinlosigkeit kommen kann.

4.2.4.2 Sicherheitshinweis Nr. 34

Das Flugbetriebsunternehmen sollte Führungs- und Überwachungsmassnahmen entwickeln und einführen, die es gestatten, die Verletzung elementarer Sicherheitsgrundsätze und gesetzlicher Regelungen zu erkennen und deren Einhaltung sicherzustellen.

4.2.5 Verbesserung des Sicherheitsmanagementssystems

4.2.5.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat zahlreiche Qualitätsprobleme bei der Instandhaltung der durch Ju-Air betriebenen Flugzeuge nachgewiesen. Ebenso konnte durch viele Beispiele belegt werden, dass Meldungen zu sicherheitsrelevanten Ereignissen nicht weitergeleitet oder sicherheitsfördernd verarbeitet wurden. Damit wurde der Lerneffekt aus solchen Zwischenfällen verhindert oder zumindest wesentlich verringert. Das Flugbetriebsunternehmen verfügte zwar formal über ein Sicherheitsmanagementsystem, das aber in seiner Funktion weitgehend wirkungslos blieb.

4.2.5.2 Sicherheitshinweis Nr. 35

Das Flugbetriebsunternehmen sollte seine internen Abläufe insbesondere im Bereich der Qualitätssicherung und im Umgang mit Risiken verbessern, so dass Sicherheitsprobleme zeitgerecht erkannt und zielführend behoben werden können.

4.2.6 Durchführung von Ereignis- und Risikoanalysen

4.2.6.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat nachgewiesen, dass die wesentlichen Risiken des Flugbetriebs durch das Flugbetriebsunternehmen nie analysiert wurden. Dies führte dazu, dass der Betrieb regelmässig so stattfand, dass eine geringe Störung zu einem Unfall hätte führen können. Der vorliegend untersuchte Unfall ist denn auch typisch, weil ein häufig angewandtes riskantes Verfahren in Verbindung mit einer alltäglichen natürlichen Rahmenbedingung eine fatale Wirkung entfalten konnte.

4.2.6.2 Sicherheitshinweis Nr. 36

Das Flugbetriebsunternehmen sollte die fehlenden Ereignis- und Risikoanalysen vornehmen und sicherstellen, dass bei Motorausfällen und beim Fliegen im Gebirge durch eine zweckmässige Flugwegplanung und Flugwegwahl die sichere Beendigung des Fluges jederzeit gewährleistet ist.

4.2.7 Verbesserung des Trainings von kritischen Flugzuständen

4.2.7.1 Sicherheitsdefizit

Die Sicherheitsuntersuchung hat nachgewiesen, dass die Flugbesatzungen des Flugbetriebsunternehmens nicht über die Erfahrung verfügten, wie sich das Muster Junkers Ju 52/3m g4e bei der im Einsatz mit Passagieren üblichen Beladung in kritischen Flugzuständen verhält.

4.2.7.2 Sicherheitshinweis Nr. 37

Das Flugbetriebsunternehmen sollte kritische Flugzustände in realistischen Betriebssituationen dokumentieren. Die Besatzungen sollten mit kritischen Flugzuständen so gut wie möglich vertraut gemacht werden.

4.3 Seit dem Unfall getroffene Massnahmen

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt verfügte am 16. August 2018, dass das Flugbetriebsunternehmen seine Luftfahrzeuge mit einem Logger ausrüsten müsse, um die Flüge überwachen und auswerten zu können. Des Weiteren wurden ausser für Start- und Landung erhöhte Minimalflughöhen von 1000 Fuss über Grund über unbewohntem Gebiet und 2000 Fuss über Grund über bewohntem Gebiet angeordnet. Die Flugpassagiere hatten in der Folge während des Fluges angeschnallt auf ihren Sitzen zu verweilen. Für die Flug- und Kabinenbesatzungen musste Ju-Air einen Auffrischungskurs bezüglich der Standardbetriebsverfahren und Cockpit Ressource Management durchführen.

Am 16. November 2018 entzog das BAZL durch eine Verfügung die Lufttüchtigkeitszeugnisse der Schwesterflugzeuge HB-HOP und HB-HOS.

Die Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle hat im September 2019 die massgeblichen Verantwortlichen des Flugbetriebsunternehmens, der Instandhaltungsbetriebe und des Bundesamtes für Zivilluftfahrt umfassend über die bis zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Untersuchungsergebnisse und die erkannten Sicherheitsdefizite informiert. Dies geschah in der Absicht, diesen Organisationen so

früh wie möglich alle notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen, damit diese bis zur Publikation des Schlussberichts bereits wirksame Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit treffen können.

Mit Stellungnahme vom 29. Juli 2020 meldete das BAZL die folgenden Massnahmen, die es zur Verbesserung der Flugsicherheit ergriffen habe und die hier von der SUST kommentarlos aufgeführt werden:

«Im Verlaufe des ersten Quartals 2019 wurden bei der JU-Air Part-145 drei Audits durchgeführt, was zur Suspendierung des Part-145 Zertifikates führte. Danach folgte eine Inspektion, welche aufzeigte, dass die JU-Air trotz Entzug des Part-145 Zertifikates weiterhin Maintenance Arbeiten ausführte. Dies führte zu einer Busse welche am 15.10.19 ausgesprochen wurde.

Am 3.-5.4.19 wurde bei Naef Flugmotoren AG das periodische Audit durchgeführt, was im Entzug der der Part-145 Motoren-Zulassung (Rating B2) und der Privilegien für die Untervergabe (Subcontracting) per 11.4.19 endete. Als Vorbereitung auf dieses Audit wurden am 13. & 14.3.19 bei der SUST Akteneinsicht genommen.

Am 15.5.19 retournierte die JU-Air freiwillig das Part-M/G CAMO Zertifikat.

Am 11.6.19 ersucht die neue Firma Junkers Flugzeugwerke um eine Part-145 Zulassung für JU-52 Flugzeuge. Dieser Prozess ist noch nicht abgeschlossen.

Am 7.5.20 retournierte Naef freiwillig die Part-145 Zulassung.

Am 24.6.20 retourniert Ju-Air freiwillig die suspendierte Part-145 Zulassung zurück.

BAZL intern wurden verschiedene Aktivitäten aufgenommen.

Am 25.& 26.3.2019 wurde in den Sektionen STOB & STOZ anlässlich eines 2-tägigen Workshops ein Lesson's learned auf Basis des SUST Vorberichtes durchgeführt und weitere Massnahmen definiert.

Am 23.& 24.9.2019 folgte in den Sektionen STOZ & STOB eine 2-tägige Auffrischungsschulung zum Thema Audit Technik und Taktik mit Praxis Workshops und Lessons learned.

Weiter wurde im BAZL ein Projekt aufgesetzt, welches dem Umstand der alternden Luftfahrzeuge Rechnung trägt. Es wurde eine Risiko Beurteilung diesbezüglich durchgeführt, welche auch in die geplante Gesetzesänderung einfliessen soll.

Das BAZL hat seine Prozesse zur Einschätzung der Risiken der Flugbetriebe ergänzt und verfeinert. Damit soll sichergestellt werden, dass die Aufsichtsplanung besondere, vom Regelwerk zu wenig adressierte Risiken, erfasst. Diese vertiefte Risikobewertung wird seit 2019 angewendet.

Da der Flugbetrieb seit längerer Zeit eingestellt ist […]*, besteht derzeit kein unmittelbarer Handlungsbedarf für weitere operationelle Massnahmen gegenüber der Ju-Air.»*

Ausser dem BAZL meldete kein Stakeholder Massnahmen, die seit dem Unfall getroffen wurden.

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

Bern, 22. Dezember 2020 Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle