



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle SUST
Service d'enquête suisse sur les accidents SESA
Servizio d'inchiesta svizzero sugli infortuni SISI
Swiss Accident Investigation Board SAIB

Bereich Aviatik

Schlussbericht Nr. 2158 der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST

über den schweren Vorfall des
Flugzeuges AVRO 146-RJ100, HB-IXP,
Flugnummer LX 5187

vom 20. Juli 2011

auf dem Flughafen Zürich-Kloten

Cause

L'incident grave est dû au fait qu'après l'arrêt d'un seul système, l'équipage n'a pas employé les systèmes restants de manière appropriée et que par moment, la sécurité de conduite de l'avion n'était plus garantie.

L'enquête a relevé les facteurs suivants qui ont conduit à l'incident grave:

- l'équipage avait une idée fondamentalement fautive du problème technique qui était à la base de l'arrêt du système
- le copilote n'a pas réussi à poursuivre le pilotage de l'avion manuellement après l'arrêt de l'autopilote, de l'automanette et du directeur de vol
- le commandant a pu piloter l'avion seulement à l'aide des instruments de secours
- la gestion des ressources de l'équipage (*crew resource management* – CRM) était déficiente
- l'équipage n'a pas effectué une analyse suffisante de la situation
- l'expérience d'un vol exercé en simulateur à l'aide des instruments de secours et des données de base n'a pu être appliquée que partiellement dans cette situation d'urgence

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Dieser Bericht enthält die Schlussfolgerungen der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle (SUST) über die Umstände und Ursachen des vorliegend untersuchten schweren Vorfalls.

Gemäss Art. 3.1 der 10. Ausgabe des Anhanges 13, gültig ab 18. November 2010, zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 sowie Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt ist der alleinige Zweck der Untersuchung eines Flugunfalls oder eines schweren Vorfalls die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen. Die rechtliche Würdigung der Umstände und Ursachen von Flugunfällen und schweren Vorfällen ist ausdrücklich nicht Gegenstand der Flugunfalluntersuchung. Es ist daher auch nicht Zweck dieses Berichts, ein Verschulden festzustellen oder Haftungsfragen zu klären.

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

Die deutsche Fassung dieses Berichts entspricht dem Original und ist massgebend.

Alle in diesem Bericht erwähnten Zeiten sind, soweit nicht anders vermerkt, in koordinierter Weltzeit (*coordinated universal time* – UTC) angegeben. Für das Gebiet der Schweiz galt im im Zeitpunkt des schweren Vorfalls die mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ) als Normalzeit (*local time* – LT). Die Beziehung zwischen LT, MESZ und UTC lautet:
LT = MESZ = UTC + 2 h.

In diesem Bericht wird aus Gründen des Persönlichkeitsschutzes für alle natürlichen Personen unabhängig ihres Geschlechts die männliche Form verwendet.

Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht	3
Inhaltsverzeichnis	4
Schlussbericht.....	7
Zusammenfassung.....	7
Untersuchung	7
Kurzdarstellung	7
Ursachen	8
Sicherheitsempfehlungen.....	9
1 Sachverhalt.....	10
1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf.....	10
1.1.1 Allgemeines	10
1.1.2 Vorgeschichte	10
1.1.3 Flugverlauf.....	10
1.1.4 Ort des schweren Vorfalles	13
1.2 Personenschäden.....	13
1.2.1 Verletzte Personen	13
1.2.2 Staatsangehörigkeit der Insassen des Luftfahrzeuges	13
1.3 Schaden am Luftfahrzeug.....	13
1.4 Drittschaden.....	13
1.5 Angaben zu Personen.....	13
1.5.1 Kommandant	13
1.5.1.1 Allgemeines	13
1.5.1.2 Flugerfahrung	14
1.5.1.3 Besatzungszeiten	14
1.5.1.4 Qualifikationen	14
1.5.2 Copilot.....	15
1.5.2.1 Allgemeines	15
1.5.2.2 Flugerfahrung	16
1.5.2.3 Besatzungszeiten	16
1.5.2.4 Qualifikationen	16
1.5.3 Flugverkehrsleiter	16
1.6 Angaben zum Luftfahrzeug	17
1.6.1 Allgemeines	17
1.6.2 Systeme, Instrumente und Anzeigen	18
1.6.2.1 Allgemeines	18
1.6.2.2 Electronic Flight Instrument System.....	18
1.6.2.3 Inertial Reference System	19
1.6.2.4 Das Flugführungssystem.....	20
1.6.2.5 Querlagen-Warnung	21
1.6.2.6 Distance Bearing Indicator	21
1.6.2.7 Instrumente für den Notfall	22
1.6.3 Technische Massnahmen unmittelbar nach dem schweren Vorfall	22
1.7 Meteorologische Angaben.....	22
1.7.1 Allgemeine Wetterlage	22
1.7.2 Lokales Wetter und Sicht.....	22
1.7.3 Windverhältnisse	23
1.7.4 Wolken.....	23
1.7.5 Wettermeldung von Flughäfen	23
1.7.6 ATIS-Meldungen des Flughafens Zürich.....	24

1.7.7	Flughafenwettervorhersage.....	24
1.8	Navigationshilfen.....	25
1.8.1	Allgemeines	25
1.8.2	Radarüberwachung von Anflügen	25
1.9	Kommunikation	25
1.10	Angaben zum Flughafen.....	25
1.10.1	Allgemeines	25
1.10.2	Pistenausrüstung.....	25
1.11	Flugschreiber.....	26
1.11.1	Flugdatenschreiber.....	26
1.11.2	Cockpit voice recorder.....	26
1.12	Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle	26
1.13	Medizinische und pathologische Feststellungen.....	26
1.14	Feuer.....	26
1.15	Überlebensaspekte.....	26
1.16	Versuche und Forschungsergebnisse	26
1.17	Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung	27
1.17.1	Das Flugbetriebsunternehmen	27
1.17.2	Betriebliche Verfahren im Umgang mit Störungen	27
1.17.3	Zusammenarbeit im Cockpit.....	28
1.17.4	Refresherkurse im Simulator	28
1.18	Zusätzliche Angaben.....	29
1.19	Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken.....	30
2	Analyse	31
2.1	Technische Aspekte.....	31
2.1.1	Nothorizont	31
2.1.2	Verhalten der IRU während des Fluges	31
2.1.3	Analyse der IRU Werkstattbefunde	34
2.2	Menschliche und betriebliche Aspekte	34
2.2.1	Verhalten der Besatzung während des Vorfalles	34
2.2.2	Qualifikationswesen und Training.....	37
2.2.3	Verhalten der Flugverkehrsleitung	37
3	Schlussfolgerungen.....	38
3.1	Befunde	38
3.1.1	Technische Aspekte	38
3.1.2	Besatzung.....	38
3.1.3	Flugverlauf.....	38
3.1.4	Flugverkehrsleitung	39
3.1.5	Rahmenbedingungen	39
3.2	Ursachen	40
4	Sicherheitsempfehlungen und seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen.....	41
4.1	Sicherheitsempfehlungen.....	41
4.1.1	Verbesserung der Notinstrumente.....	41
4.1.1.1	Sicherheitsdefizit.....	41
4.1.1.2	Sicherheitsempfehlung Nr. 456	42
4.1.1.3	Sicherheitsempfehlung Nr. 457	42
4.1.2	Verbesserung der Ausbildung zum Verhalten in Notsituationen.....	42
4.1.2.1	Sicherheitsdefizit.....	42

4.1.2.2	Sicherheitsempfehlung Nr. 458	43
4.2	Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen	43
Anlagen	44
Anlage 1:	Flugverlauf im Anflug	44
Anlage 2:	Höhe, Geschwindigkeit und Schubhebelstellung.....	46
Anlage 3:	Instrumentenpanel des Kommandanten	47
Anlage 4:	Technische Information an die AVRO RJ Besatzungen.....	48
Anlage 5:	Prüfliste beim Ausfall eines IRS	49

Schlussbericht

Zusammenfassung

Eigentümer	Swiss International Air Lines Ltd. Postfach, 4002 Basel, Schweiz
Halter	Swiss European Air Lines AG Malzgasse 15, 4052 Basel, Schweiz
Hersteller	British Aerospace (<i>regional aircraft</i>) Ltd.
Luftfahrzeugmuster	AVRO 146-RJ100
Eintragungsstaat	Schweiz
Eintragungszeichen	HB-IXP
Ort	Flughafen Zürich-Kloten
Datum und Zeit	20. Juli 2011, 09:52 UTC

Untersuchung

Der schwere Vorfall ereignete sich am 20. Juli 2011 um 09:52 UTC. Die Meldung traf gleichentags um 15:40 UTC beim Büro für Flugunfalluntersuchungen (BFU) ein, die um ca. 17:00 UTC eine Untersuchung eröffnete. Das BFU informierte das Vereinigte Königreich auf den üblichen Meldewegen über den schweren Vorfall. Die Untersuchungsbehörde des Vereinigten Königreichs bot dem BFU ihre Unterstützung an, ernannte aber keinen bevollmächtigten Vertreter.

Der vorliegende Schlussbericht wird durch die Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle (SUST) veröffentlicht.

Kurzdarstellung

Am 20. Juli 2011 um 08:53 UTC startete das Flugzeug AVRO 146-RJ100, eingetragen als HB-IXP unter der Flugnummer LX 5187 und dem Funkrufzeichen *Swiss five one eight seven* zu einem Positionierungsflug von Nürnberg nach Zürich.

Kurz nach dem Start, auf einer Höhe von ca. 400 ft über Grund, als das Flugzeug noch manuell gesteuert wurde, fielen gleichzeitig die automatische Schubregelung (*autothrottle* – AT) und der *flight director*¹ (FD) aus. Diese konnten später, zusammen mit dem automatischen Steuerungssystem (*autopilot* – AP), wieder zugeschaltet werden.

Nach einem weiter ereignislosen Flug ging die Besatzung davon aus, dass alle Systeme ohne Einschränkungen zur Verfügung standen. In der Folge erhielt LX 5187 die Freigabe zu einem Landeanflug auf die Piste 14. Ausgerichtet auf der Ebene des Landekurssenders (*localizer*) und auf einer Höhe von 4000 ft AMSL fielen um 09:51:40 UTC der Autopilot, der *autothrottle* und der *flight director* aus. Wenige Sekunden später ertönte die akustische Warnung für eine grosse Querlage "*bank angle*".

Um 09:52:04 UTC erschienen auf den elektronischen Fluganzeigegeräten (*electronic flight instrument system* – EFIS *displays*) des Kommandanten die roten Warnanzeigen ATT (*attitude*) und HDG (*heading*) und die Navigationsdaten verschwanden. Auf den EFIS *displays*

¹ Der *flight director* (FD), ist ein grafisches Symbol auf den *primary flight displays* (PFD) dieses Flugzeuges. Mit dieser Anzeige wird eine Fluglageänderung kommandiert um das Flugzeug von Hand auf die vom *flight guidance computer* (FGC) vorgegebene Längs- respektive Querneigung zu bringen. Ist der Autopilot eingeschaltet, so werden diese Steuerbefehle ohne Zutun des Piloten direkt umgesetzt.

des Copiloten blieben die Anzeigen stabil und erlaubten ein manuelles Steuern des Flugzeuges.

Der Copilot vertraute seinen Anzeigen nicht mehr, der Kommandant übernahm anhand der Notinstrumente die Steuerung des Flugzeuges und wickelte weiterhin den Funkverkehr ab. Kurz darauf meldete er der Flugverkehrsleitung, dass Navigationsprobleme beständen und keine Steuerkursanzeige (*heading*) verfügbar sei. Während der folgenden Flugphase traten wesentliche Oszillationen des Lagewinkels auf und die Steig- und Sinkrate, sowie die Geschwindigkeit des Flugzeuges variierten beträchtlich. Der Flugverkehrsleiter (FVL) führte das Flugzeug mit links/rechts-Anweisungen in eine Position für einen erneuten Anflug. Zusätzlich wurde der den Flughafen Zürich an- und abfliegende Verkehr gestoppt, um Flug LX 5187 eine optimale Unterstützung geben zu können.

Die Besatzung schaltete gemäss der Prüfliste (*abnormal checklist*) den EFIS Wählschalter in die Position "BOTH 2" und meldete um 09:58:52 UTC, dass sie die Anzeigen in Kürze wieder zur Verfügung haben werde.

Wenig später erteilte der FVL die Freigabe für einen Anflug auf die Piste 14 und die Besatzung, welche den AT und den FD wieder zugeschaltet hatte, meldete um 10:03:21 UTC, dass sie "*fully established*" sei. Der Anflug wurde manuell durchgeführt.

Der anschliessende Endanflug und die Landung erfolgten ereignislos.

Ursachen

Der schwere Vorfall ist darauf zurückzuführen, dass die Besatzung nach dem Ausfall eines einzelnen Systems die verbliebenen Systeme nicht zweckmässig einsetzte und eine sichere Führung des Flugzeuges zeitweise nicht mehr gewährleistet war.

Dabei hat die Untersuchung die folgenden Faktoren ermittelt, welche zum schweren Vorfall geführt haben:

- Die Besatzung hatte eine grundsätzlich unzutreffende Vorstellung des dem Systemausfall zugrunde liegenden technischen Problems.
- Dem Copiloten gelang es nicht, nach dem Ausfall von *autopilot*, *autothrottle* und *flight director* das Flugzeug manuell weiterzuführen.
- Der Kommandant konnte das Flugzeug nur eingeschränkt mit Hilfe der Notinstrumente fliegen.
- Die Zusammenarbeit der Besatzung (*crew resource management* - CRM) war mangelhaft.
- Die Besatzung führte keine ausreichende Situationsanalyse durch.
- Ein im Simulator geübtes Fliegen nach *standby instruments* und nach *raw data* konnte im Ernstfall nur teilweise umgesetzt werden.

Sicherheitsempfehlungen

Im Rahmen der Untersuchung wurden drei Sicherheitsempfehlungen ausgesprochen.

Nach Vorgabe des Anhangs 13 der ICAO richten sich alle Sicherheitsempfehlungen, die in diesem Bericht aufgeführt sind, an die Aufsichtsbehörde des zuständigen Staates, welche darüber zu entscheiden hat, inwiefern diese Empfehlungen umzusetzen sind. Gleichwohl ist jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Flugsicherheit anzustreben.

Die schweizerische Gesetzgebung sieht in der Verordnung über die Untersuchung von Flugunfällen und schweren Vorfällen (VFU) bezüglich der Umsetzung folgende Regelung vor:

„Art. 32 Sicherheitsempfehlungen

¹ Das UVEK richtet, gestützt auf die Sicherheitsempfehlungen in den Berichten der SUST sowie in den ausländischen Berichten, Umsetzungsaufträge oder Empfehlungen an das BAZL.

² Das BAZL informiert das UVEK periodisch über die Umsetzung der erteilten Aufträge oder Empfehlungen.

³ Das UVEK informiert die SUST mindestens zweimal jährlich über den Stand der Umsetzung beim BAZL.“

1 Sachverhalt

1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf

1.1.1 Allgemeines

Für die folgende Beschreibung von Vorgeschichte und Flugverlauf wurden die Aufzeichnungen des Sprechfunkverkehrs, des Flugdatenschreibers, Radardaten, sowie die Aussagen von Besatzungsmitgliedern und Flugverkehrsleitern verwendet. Während des Fluges, ausgenommen des Anfluges und der Landung in Zürich, war der Copilot als fliegender Pilot (*pilot flying* – PF) und der Kommandant als assistierender Pilot (*pilot not flying* – PNF) eingesetzt.

Der Flug wurde nach Instrumentenflugregeln durchgeführt. Es handelte sich um einen Positionierungsflug.

1.1.2 Vorgeschichte

Am 19. Juli 2011 um 12:54 UTC rollte das Flugzeug AVRO 146-RJ100, eingetragen als HB-IXP, unter der Flugnummer LX 1191, in Nürnberg (EDDN) zum Start für einen Linienflug nach Zürich (LSZH). Nach dem Setzen der Startleistung, bei einer Geschwindigkeit von ungefähr 60 Knoten, erschienen die Anzeigen "*master caution*" "*HYD*" und "*LO QTY*"². Die Besatzung brach den Start ab und rollte zum Standplatz zurück, wo sie um 13:00 UTC die Triebwerke abstellte.

Die nachfolgende Untersuchung ergab ein Leck im Hydrauliksystem. Mit dem Wechsel einer Dichtung konnte der Fehler behoben werden und das Flugzeug wurde am 20. Juli 2011 um 06:05 UTC wieder für den Betrieb freigegeben. Aus betrieblichen Gründen entschied sich das Flugbetriebsunternehmen, das Flugzeug am gleichen Tag zwecks Positionierung ohne Passagiere nach Zürich zu überfliegen.

In der Nacht vom 19. auf den 20. Juli 2011 regnete es in Nürnberg stark und bei der Flugzeugübernahme durch die Besatzung stellte diese fest, dass der Kabinenboden im Eingangsbereich nass war. Gemäss Angaben des Flugbetriebsunternehmens kam es unter solchen Bedingungen schon öfters zu Ausfällen des *flight guidance system* (FGS). Dies war den Besatzungen bekannt.

1.1.3 Flugverlauf

Am 20. Juli 2011 um 08:53 UTC startete das Flugzeug AVRO 146-RJ100 unter der Flugnummer LX 5187 und dem Funkrufzeichen *Swiss five one eight seven* zum Positionierungsflug von Nürnberg nach Zürich.

Kurz nach dem Start, auf einer Höhe von ca. 400 ft über Grund, fielen gleichzeitig der *autothrottle* (AT) und der *flight director* (FD) aus. Das Flugzeug wurde in dieser Phase manuell gesteuert. Der Copilot setzte den Steigflug fort und nach dem Einfahren der Auftriebshilfen (*clean up*) befasste sich der Kommandant mit dem Ausfall des AT und FD. Der Kommandant sagte später aus, dass dies ein bekanntes Problem sei, speziell nachdem das Flugzeug am Boden über längere Zeit starkem Regen ausgesetzt war. Dies hätte jeweils zum Ausfall des aktiven *flight guidance computer* (FGC) geführt.

Die Besatzung hatte den Verfahren des Flugbetriebsunternehmens entsprechend für den Start den FGC 2 als aktiven FGC gewählt³. Der Kommandant schaltete in der Folge auf den FGC 1 um und AT, FD und AP konnten zugeschaltet werden.

² Die Anzeige "LO QTY" steht für *low quantity* und bedeutet eine zu geringe Ölmenge in einem Hydrauliksystem

³ An Tagen mit geradem Datum wird der FGC 2 verwendet, während an Tagen mit ungeradem Datum der FGC 1 zum Einsatz kommt.

Nach einem ansonsten ereignislosen Flug flog die Besatzung um 09:33 UTC auf Flugfläche 130 aus Verkehrsgründen in die Warteschlange RILAX ein. In der Warteschlange wählte der Kommandant erneut den FGC 2, weil er sehen wollte, ob das Problem nach dem Start in Nürnberg noch existiere. Alles funktionierte normal und die Besatzung entschloss sich, den FGC 2 als aktiven FGC zu belassen.

Nach dem Verlassen der Warteschlange RILAX erhielt die Besatzung der LX 5187 vom Flugverkehrsleiter (FVL) *Zurich final* um 09:49:25 UTC folgende Freigabe: "*Swiss five one eight seven, left heading one six zero, intercept localizer one four.*" Eine halbe Minute später erhielt die Besatzung die Freigabe, auf 4000 ft QNH abzusinken und dem Richtstrahl des Instrumentenlandesystems (ILS) auf die Piste 14 zu folgen.

Um 09:49:52 UTC erfasste das System die Ebene des Landekurssenders (*localizer*) und folgte diesem. Um 09:51:17 UTC forderte der FVL die Besatzung auf, die Geschwindigkeit auf 160 Knoten zu reduzieren, was die Besatzung umgehend quittierte. Sie fuhr in der Folge die Landeklappen in die Stellung 18 Grad aus. Wenige Sekunden später, um 09:51:40 UTC, begann die *inertial reference unit 1* (IRU 1) ein erratisches Querlagesignal auszugeben und gleichzeitig fielen AP, FD und AT aus. Da der Kommandant überzeugt war, dass sich das Szenario vom Start in Nürnberg wiederhole, schaltete er sofort auf den FGC 1 zurück und befahl dem Copiloten, ohne *autopilot* weiter zu fliegen. Das Flugzeug flog zu diesem Zeitpunkt in Instrumentenwetterbedingungen (*instrument meteorological conditions* – IMC) im Horizontalflug auf 4000 ft QNH. Die Leistungshebel waren zwecks Geschwindigkeitsabbau im Leerlauf und das Erfassen des Gleitwegsignals stand kurz bevor. Wenige Sekunden später ertönte im Cockpit die akustische Warnung bezüglich Querlage "*bank angle*". Der Copilot sagte aus, dass er, irritiert durch diese akustische Warnung, auf die Instrumente des Kommandanten geschaut habe, um sich zu vergewissern, dass seine eigenen Instrumente in Ordnung wären. Auf der Seite des Kommandanten erschien zu diesem Zeitpunkt auf dem *primary flight display* (PFD) eine un stabile Querlage. Der PFD des Copiloten zeigte in diesem Moment eine Querlage, die dem Horizontalflug entsprach.

Um 09:52:04 UTC erschienen auf den EFIS *displays* des Kommandanten in rot die Warnmeldungen ATT und HDG. Nur wenige Sekunden später, um 09:52:16 UTC fragte der FVL die Besatzung: "*Swiss five one eight seven, established?*" was diese umgehend mit "*affirm*" bestätigte.

Der Kommandant sagte aus, dass sie beide nun auf den *standby horizon* geschaut hätten und dabei glaubten, dieser zeige eine eher "*unwirkliche*" Fluglage an.

Der FVL beobachtete, dass sich das Radarsymbol des Flugzeuges von der Anfluggrundlinie nach Osten weg bewegte und eine Fortsetzung des Sinkfluges anzeigte. Unmittelbar nach der "*affirm*"-Meldung der Besatzung gab der FVL deshalb die Anweisung: "*I see you left of the centerline, turn immediately right and climb immediately to four thousand feet.*" Das Flugzeug befand sich zu diesem Zeitpunkt 0.45 NM östlich der Anfluggrundlinie in einem Abstand von ungefähr 6 NM von der Pistenschwelle 14 und auf einer Höhe von 3300 ft AMSL. Bezüglich des Gleitweges flog es damit ungefähr auf dem nominellen Gleitwinkel. Der FVL beabsichtigte mit dieser Anweisung nach eigenen Angaben, das Flugzeug zurück auf die Anfluggrundlinie zu bringen. Die Besatzung gab nun zur Antwort, dass sie einen Navigationsfehler habe, worauf der FVL die Besatzung zwecks eines erneuten Anfluges (*repositioning*) aufforderte, unverzüglich auf eine Höhe von 5000 ft QNH zu steigen und einen Steuerkurs von 100 Grad zu fliegen (vgl. Anlage 1).

Da der Copilot dem Kommandanten sagte, dass er seinen Lageinstrumenten nicht mehr traue, übernahm dieser im Steigflug die Kontrolle über das Flugzeug. Er benutzte in der Folge gemäss seiner Aussage die Notinstrumente (*standby instruments*). Damit sich der Copilot einen Überblick beschaffen konnte und um die entsprechende Prüfliste abarbeiten zu können, wickelte der Kommandant in der Folge auch den Sprechfunkverkehr weiter ab. Er informierte den FVL um 09:53:05 UTC wie folgt: *"Ok, we have a problem with our heading indications so please give us a left and a right ah indication."* Der FVL kam dieser Bitte umgehend nach. Er überwachte auch die Einhaltung der geflogenen Höhe und gab bei Abweichungen sofort entsprechende Korrekturanweisungen.

Um 09:53:35 UTC begann das Einfahren der Landeklappen aus der Stellung 18 Grad auf null Grad. Zwischen 09:53:40 UTC und 09:54:08 UTC sank die Maschine mit einer durchschnittlichen Sinkrate von annähernd 2500 ft/min ab, um anschliessend bis um 09:54:32 UTC in einen erneuten Steigflug mit einer durchschnittlichen Steigrate von rund 2600 ft/min überzugehen. Gleichzeitig wurden die Leistungshebel der Triebwerke zwischen 45 und 70 Grad *power lever angle* (PLA) bewegt und die Geschwindigkeit variierte in einem Bereich von 160 bis 240 Knoten (vgl. Anlage 2).

Der FVL liess in der Zwischenzeit in Absprache mit den anderen FVL keine weiteren Anflüge auf den Flughafen Zürich zu und machte die Frequenz frei, um der Besatzung von LX 5187 optimale Unterstützung bieten zu können. Um 09:55:24 UTC meldete die Besatzung: *"At ah five thousand two hundred feet at the moment and PAN, PAN, PAN, PAN, PAN, PAN, Swiss five one eight seven. Lost our primary navigation displays."* Da sich nicht abschätzen liess, wie sich die Situation entwickeln würde, wurden durch die Flugverkehrsleitung auch keine Abflugfreigaben mehr erteilt.

Um 09:55:53 UTC informierte der FVL die Besatzung wie folgt: *"Swiss five one eight seven, you are now the only traffic on this frequency. Are you able to fly heading?"* Die Besatzung verneinte diese Frage, worauf der FVL folgende Anweisung gab: *"Roger, left turn until I say stop."* Das Flugzeug befand sich zu diesem Zeitpunkt auf einem nördlichen Steuerkurs auf einer Höhe von 5000 ft QNH.

Auf die Frage des FVL um 09:56:06 UTC: *"Swiss five one eight seven, will you be able to fly the ILS one four?"* antwortete die Besatzung: *"Stand by, Swiss five one eight seven."* Die Frage um 09:57:41 UTC, ob sich LX 5187 immer noch in einer Linkskurve befinde, musste der FVL zweimal wiederholen, bis die Frage um 09:58:04 UTC durch die Besatzung bejaht wurde.

Der Copilot hatte in der Zwischenzeit die Prüfliste für das Verfahren *"Loss of IRS"* (*abnormal checklist*) abzuarbeiten begonnen und forderte den Kommandanten entsprechend auf, den EFIS Wählschalter auf "BOTH 2" zu stellen (vgl. Anlage 3 und 5). Als Folge davon erschienen die Anzeigen auf den EFIS *displays* des Kommandanten wieder, der *flight director* (FD) und der *autothrottle* (AT) konnten wieder zugeschaltet werden und die Besatzung meldete um 09:58:52 UTC: *"Ah we have the system back any moment."* Der FVL teilte der Besatzung umgehend mit, dass sie sich im *base leg* für einen ILS Anflug auf die Piste 14 befinde und bis zum *touch down* noch 22 Meilen vor sich hätte und fragte, ob sie das akzeptieren könne. Die Besatzung antwortete mit: *"That's perfect"*.

Auf die Frage des FVL um 10:00:14 UTC, ob die Besatzung des Fluges LX 5187 noch eine Verzögerung wünsche, antwortet diese *"negativ"*. Das Flugzeug befand sich zu diesem Zeitpunkt fünf Meilen vor dem *localizer*. Der FVL wies daraufhin die Besatzung an: *"Roger. So continue present heading. Maintain five thousand feet, vectoring ILS one four."*

Um 10:00:37 UTC informierte der FVL die Besatzung wie folgt: *"I see you again in a left turn, Swiss five one eight seven, make a right turn, start right turn until I say stop."* Die Besatzung quittierte diese Information und zehn Sekunden später forderte der FVL die Besatzung auf, die Rechtskurve zu beenden. Um 10:01:24 UTC, nach einer vorgängigen Sinkflugfreigabe auf 4000 ft QNH gab der FVL folgende Anweisung: *"Swiss five one eight seven, now left heading one seven zero, cleared ILS one four, report established."*

Die Besatzung meldete um 10:02:36 UTC: *"Established on the localizer. Glide path two dots below"* und um 10:03:21 UTC bestätigte sie: *"Swiss five eight one seven is now fully established."*

Der anschliessende Endanflug und die Landung erfolgten ereignislos.

1.1.4 Ort des schweren Vorfalles

Anflugsektor Ost des Flughafens Zürich-Kloten.

1.2 Personenschäden

1.2.1 Verletzte Personen

Verletzungen	Besatzungs- mitglieder	Passagiere	Gesamtzahl der Insassen	Drittpersonen
Tödlich	0	0	0	0
Erheblich	0	0	0	0
Leicht	0	0	0	0
Keine	2	0	2	Nicht zutreffend
Gesamthaft	2	0	2	0

1.2.2 Staatsangehörigkeit der Insassen des Luftfahrzeuges

Die Besatzung setzte sich aus zwei schweizerischen Staatsbürgern zusammen.

1.3 Schaden am Luftfahrzeug

Das Flugzeug wurde nicht beschädigt.

1.4 Drittschaden

Es entstand kein Drittschaden.

1.5 Angaben zu Personen

1.5.1 Kommandant

1.5.1.1 Allgemeines

Person	Schweizer Staatsbürger, Jahrgang 1957
Lizenz	Führerausweis für Verkehrspiloten auf Flächenflugzeugen (<i>air transport pilot licence aeroplane – ATPL(A)</i>) nach <i>joint aviation requirements</i> (JAR), erstmals ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) am 3. Juli 1998, gültig bis 11. Mai 2016

	Berechtigungen	Musterberechtigung AVRORJ/BAe146 als verantwortlicher Pilot, gültig bis 27. Mai 2012 <i>language proficiency: english level 4</i> , gültig bis 27. Mai 2013 Nachtflug NIT(A)
	Instrumentenflugberechtigung	Instrumentenflug Flugzeug IR(A) Instrumentenanflüge der Kategorie III mit AVRORJ/BAe146, gültig bis 27. Mai 2012
	Letzte Befähigungsüberprüfung	<i>simulator check</i> am 3. Mai 2011
	Medizinisches Tauglichkeitszeugnis	Klasse 1 / 2, Einschränkungen: VNL (<i>shall have available corrective spectacles for near vision and carry a spare set of spectacles</i>) Gültig vom 28. März 2011 bis 25. April 2012
	Letzte fliegerärztliche Untersuchung	28. März 2011
1.5.1.2	Flugerfahrung	
	Gesamthaft	9430:00 h
	Auf dem Vorfalldmuster	3480:00 h
	Während der letzten 90 Tage	56:47 h
	Davon auf dem Vorfalldmuster	56:47 h
	Als Kommandant	7541:14 h
1.5.1.3	Besatzungszeiten	
	Beginn der Dienste in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	18. Juli 2011, dienstfrei 19. Juli 2011, dienstfrei 20. Juli 2011, 06:00 UTC
	Dienstende in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	18. Juli 2011, dienstfrei 19. Juli 2011, dienstfrei
	Flugdienstzeiten in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	18. Juli 2011, 0 h 19. Juli 2011, 0 h
	Ruhezeiten in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	vom 18. auf den 19. Juli, dienstfrei vom 19. auf den 20. Juli, dienstfrei
	Flugdienstzeit zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls	3:52 h
1.5.1.4	Qualifikationen	
	Nebst den Qualifikationsunterlagen bezüglich der letzten Jahre vor dem schweren Vorfall standen der Untersuchung auch diejenigen des Auswahlverfahrens des Kommandanten als Pilot und als Anwärter zum Kommandanten zur Verfügung. Um seine Leistungen im Hinblick auf eine Beförderung zum Kommandanten besser abschätzen zu können, wurde er im täglichen Betrieb als Copilot	

durch nicht speziell für diese Aufgabe ausgebildete Linienpiloten beurteilt. Die auf diese Weise erstellten Beurteilungen weisen teilweise sehr widersprüchliche Aussagen zur Eignung als Kommandant auf.

Die Qualifikationsunterlagen bezüglich der letzten vier Jahre beschreiben den Kommandanten als gut bis sehr gut. Ihm wird bescheinigt, dass er seine Aufgabe als Kommandant bezüglich Führung der Besatzung vollumfänglich wahrnimmt. Explizit wird erwähnt, dass er den Copiloten in alle Entscheidungen mit einbezieht, dem durch das Flugbetriebsunternehmen definierten Entscheidungsgrundsatz "PPAA" (vgl. Kapitel 1.17.2) nachlebt und dem *crew resource management* (CRM) (vgl. Kapitel 1.17.3) gut Rechnung trägt. Die Steuerführung des Flugzeuges wird als ruhig und koordiniert beurteilt.

Eigentliche Schwachpunkte sind keine aufgeführt.

In der generellen Beurteilung unter "*flight operation*" findet sich im *licence proficiency check* (LPC) im Mai 2011 die Bemerkung: "*Beim OEI-GA [one engine inoperative - go around] wurde zu Beginn etwas überrotiert. Bei der folgenden Linkskurve entstand nach einem automatischen AP Ausfall eine un stabile Fluglage, welche aber schnell und gezielt korrigiert wurde.*"

Im LPC im März 2008 findet sich die Bemerkung: "*Vereinzelte Navigationsfehler da zu wenig auf Basic Navigation zurückgegriffen wird bei FMS-Problemen.*" Im LPC im April 2007 steht unter anderem: "*Er lässt sich durch überraschend eintretende Vorfälle noch zu stark verunsichern und verliert dabei die Übersicht (Kontrolle).*"

1.5.2 Copilot

1.5.2.1 Allgemeines

Person	Schweizer Staatsbürger, Jahrgang 1974
Lizenz	Führerausweis für Berufspiloten auf Flächenflugzeugen (<i>commercial pilot licence aeroplane</i> – CPL(A)) nach <i>joint aviation requirements</i> (JAR), erstmals ausgestellt durch das BAZL am 28. Oktober 1999, gültig bis 16. Juni 2016
Berechtigungen	Musterberechtigung AVRORJ/BAe146 als Copilot, gültig bis 5. September 2012 <i>language proficiency: english level 4</i> , gültig bis 30. August 2014 Nachtflug NIT(A)
Instrumentenflugberechtigung	Instrumentenflug Flugzeug IR(A) Instrumentenanflüge der Kategorie III mit AVRORJ/BAe146, gültig bis 5. September 2012
Letzte Befähigungsüberprüfung	<i>simulator check</i> am 5. Juni 2011
Medizinisches Tauglichkeitszeugnis	Klasse 1 / 2, ohne Einschränkungen Gültig vom 24. August 2010 bis 17. September 2011
Letzte fliegerärztliche Untersuchung	24. August 2010

1.5.2.2	Flugerfahrung	
	Gesamthaft	1529:13 h
	Auf dem Vorfallmuster	1058:42 h
	Während der letzten 90 Tage	172:45 h
	Davon auf dem Vorfallmuster	172:45 h
1.5.2.3	Besatzungszeiten	
	Beginn der Dienste in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	18. Juli 2011, dienstfrei 19. Juli 2011, dienstfrei 20. Juli 2011, 06:00 UTC
	Dienstende in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	18. Juli 2011, dienstfrei 19. Juli 2011, dienstfrei
	Flugdienstzeiten in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	18. Juli 2011, 0 h 19. Juli 2011, 0 h
	Ruhezeiten in den 48 Stunden vor dem schweren Vorfall	vom 18. auf den 19. Juli, dienstfrei vom 19. auf den 20. Juli, dienstfrei
	Flugdienstzeit zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls	3:52 h
1.5.2.4	Qualifikationen	
	Nebst den Qualifikationsunterlagen seit der Anstellung des Copiloten durch die Swiss European Air Lines im Juni 2009, standen der Untersuchung auch Ergebnisse von früheren Eignungsabklärungen des Copiloten zur Verfügung.	
	Die Qualifikationsunterlagen beschreiben seit der Anstellung des Copiloten durchwegs eine gute bis sehr gute Leistung. Explizit wird mehrmals erwähnt, dass der Copilot Situationen gut analysiert und konsequent das bekannte "PPAA" (vgl. Kapitel 1.17.2) anwendet.	
	Aufgrund der guten bis überdurchschnittlichen Qualifikationen wurde der Copilot per 1. Dezember 2011 zum Ausbildungs-First Officer (AFO) ernannt. Ein AFO hat die primäre Aufgabe, neue Copiloten während der ersten Ausbildungsrotationen als zusätzliches Besatzungsmitglied zu unterstützen. Er hatte sich im März 2011 für diese Funktion beworben und durchlief im Juni 2011 ein entsprechendes <i>assessment</i> .	
1.5.3	Flugverkehrsleiter	
	Funktion	<i>Final approach control (FIN)</i>
	Person	Schweizer Staatsbürger, Jahrgang 1970
	Dienstbeginn Vorfalldatum	05:40 UTC
	Lizenz	Ausweis für Flugverkehrsleiter (<i>air traffic controller licence</i>) basierend auf Richtlinie 2006/23 der Europäischen Gemeinschaft, erstmals ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) am 15. November 1996, gültig bis 20. Februar 2012
	Relevante Berechtigungen	<i>APS approach control surveillance</i>
	Medizinische Tauglichkeit	Klasse 3, keine Einschränkungen; vom 20. Januar 2010, gültig bis 21. Februar 2012

1.6 Angaben zum Luftfahrzeug

1.6.1	Allgemeines	
	Eintragungszeichen	HB-IXP
	Luftfahrzeugmuster	AVRO 146-RJ100
	Charakteristik	Vierstrahliges Verkehrsflugzeug
	Hersteller	British Aerospace Ltd., Woodford, Cheshire, England
	Baujahr	1996
	Werknummer	E3283
	Eigentümer	Swiss International Air Lines Ltd., Postfach, 4002 Basel, Schweiz
	Halter	Swiss European Air Lines AG, Malzgasse 15, 4052 Basel, Schweiz
	Triebwerk	4 Allied Signal LF507-1F
	Betriebsstunden Zelle	35 623 h
	Anzahl Zyklen	32 597
	Höchstzulässige Massen	Höchstzulässige Abflugmasse 44 999 kg Höchstzulässige Landemasse 40 142 kg
	Masse und Schwerpunkt	Sowohl Masse als auch Schwerpunkt befanden sich innerhalb der gemäss Luftfahrzeughandbuch (<i>aircraft flight ma- nual</i> – AFM) zulässigen Grenzen.
	Unterhalt	Die letzte geplante Unterhaltsarbeit (A- check) fand am 14. Mai 2011 bei 32 177 Zyklen statt. (Die Unterhaltsarbeiten basieren auf dem AVRO 146-RJ100 auf den Anzahl Zyk- len).
	Technische Einschränkungen	In der <i>deferred defect list</i> (DDL) war ein defektes <i>taxilight</i> eingetragen.
	Zugelassene Treibstoffqualität	Flugpetrol JET A1
	Eintragungszeugnis	Ausgestellt durch das BAZL am 11. April 2007 (Nr. 6), gültig bis zur Löschung aus dem Luftfahrzeugregister.
	Lufttüchtigkeitszeugnis	Ausgestellt durch das BAZL am 11. April 2007, gültig bis zu seinem Widerruf durch die zuständige Behörde des Ein- tragungsstaates.
	Zulassungsbereich	Cat. IIIA RVR 200m / DH 50 ft
	Einsatzarten	LVTO RVR 125 m RVSM RNAV B-RNAV RNP 5

P-RNAV RNP 1.0
Continuing Airworthiness
EC2042/2003, Part M Subpart G
EFB Class 1
Dangerous goods

1.6.2 Systeme, Instrumente und Anzeigen

1.6.2.1 Allgemeines

Im Folgenden werden nur jene Systeme, Instrumente und Anzeigen erwähnt und beschrieben, welche während des schweren Vorfalls für die Führung des Flugzeuges gebraucht wurden und einen entsprechenden Einfluss hatten.

1.6.2.2 Electronic Flight Instrument System

Das *electronic flight instrument system* (EFIS) beinhaltet vier identische *display units* (DU), zwei *symbol generators* (SG), zwei *EFIS control panels* (ECP) und zwei *EFIS dimming panels* (DP).

Die *display units* (DU) sind in Paaren, übereinander auf dem linken und rechten Instrumentenpanel angeordnet. Die obere DU hat die Funktion eines *primary flight display* (PFD) und die untere diejenige eines *navigation display* (ND).

Das PFD bringt Fluglage und Daten für die Flugführung sowie den *flight director* (FD) zur Darstellung. Ferner zeigt das PFD gewählte bzw. vorgewählte Betriebsarten (*modes*) des *flight guidance systems* (FGS) an. Die Flughöhe wird auf einem separaten Instrument rechts des jeweiligen PFD angezeigt.

Das ND zeigt Navigationsdaten wie *heading, selected heading, course, course deviation, bearing, distance* an. Es kann in den verschiedenen Anzeigeformaten ROSE, ARC, MAP und PLAN, welche auf dem ECP wählbar sind, betrieben werden.

Mit dem *EFIS control panel* (ECP) werden nebst dem Anzeigeformat die darzustellenden Parameter und deren Quelle, sowie der zu überdeckende Bereich (*range*) für das ND bestimmt.

Der *EFIS symbol generator* (SG) verarbeitet Daten von verschiedenen Sensoren wie IRS, *air data computer, radio altimeter*, Wetterradar und Radionavigationsgeräten. Er erzeugt die Symbole, welche auf den PFD und ND dargestellt werden und überwacht bzw. vergleicht eingehende Signale. Ungültige Parameter werden entsprechend gekennzeichnet. Beispiel 1: Liefern die beiden *inertial reference units* (IRU) unterschiedliche Fluglageparameter, wird in beiden PDF die Warnanzeige ATT in gelber Farbe angezeigt. Beispiel 2: Liefert eine IRU ungültige Fluglageparameter, wird ATT in roter Farbe auf der entsprechenden Seite angezeigt.

Mit dem Umschalter EFIS auf dem Instrumentenpanel des Kommandanten kann beim Ausfall eines *EFIS symbol generator* (SG) auf den intakten SG umgeschaltet werden (vgl. Anlage 3). Dieser liefert dann die Signale an alle vier DUs.

Das EFIS 1 wird über den ESS 115 VAC *bus* gespeist, während das EFIS 2 über den 115 VAC2 *bus* versorgt wird. Jedes EFIS kann separat über einen *EFIS master switch* ein- und ausgeschaltet werden.

1.6.2.3 Inertial Reference System

Der AVRO 146-RJ100 ist mit zwei *inertial reference systems* (IRS) ausgerüstet. Jedes IRS beinhaltet eine *inertial reference unit* (IRU). Beide IRU werden von einer gemeinsamen *mode select unit* (MSU) aus kontrolliert, welche in der Konsole auf der Seite des Copiloten untergebracht ist.

Die IRU dient zur Berechnung von Fluglage und Navigationsdaten. Zu den Navigationsdaten gehören unter anderem die Flugzeugposition, die Geschwindigkeit über Grund (*along track velocity*), und der Kompasskurs (*true/magnetic heading*). Als Sensoren dienen drei *laser gyros* und drei Beschleunigungsmesser (*accelerometer*). Die *accelerometer* messen die Beschleunigungen entlang den drei Flugzeugachsen. Die *laser gyros* sind so angeordnet, dass sie eine Rotation um diese Achsen fühlen. Im Rechner der IRU wird eine virtuelle Plattform gebildet. Diese Plattform wird während des Fluges mittels der von den *laser gyros* gelieferten Daten laufend nachgeführt.

Die Fluglagereferenzdaten werden unter anderem dem *electronic flight instrument system* (EFIS), dem *flight guidance system* (FGS), und dem *enhanced ground proximity warning system* (EGPWS) zugeführt. Die Navigationsdaten werden vom *flight management system* (FMS) und vom EFIS verwendet.

Die MSU verfügt pro IRS über je einen Drehschalter und einen *status annunciator*. Mit dem Drehschalter können die Funktionen OFF, ALN, NAV und ATT gewählt werden:

- OFF – IRS ist ausgeschaltet.
- ALN – In dieser Stellung beginnt das Ausrichten der virtuellen Plattform (*align mode*). In dieser Phase darf das Flugzeug nicht bewegt werden. Die Lampe NAV OFF auf der MSU leuchtet während der Dauer dieses Vorganges.
- NAV – Der Drehschalter auf der MSU kann in die Position NAV gebracht werden nachdem das *alignment* erfolgreich abgeschlossen worden ist. Die Lampe NAV OFF auf der MSU erlischt nun. Der Drehschalter kann auch direkt in die Stellung NAV gebracht werden. In diesem Falle wechselt die IRU automatisch vom *align mode* in den *navigation mode*, sobald das *alignment* abgeschlossen ist und die Lampe NAV OFF erlischt.
- ATT – Im *attitude mode* kann das IRS im Flug nur noch Fluglage- und Kompassdaten ans EFIS liefern. Die Kompassdaten stehen nur zur Verfügung, wenn diese vorgängig in der *multifunction control display unit* (MCDU) eingegeben worden sind.

Mit einem Umschalter auf dem Instrumentenpanel des Kommandanten kann zwischen *true heading* und *magnetic heading* umgeschaltet werden. Der Schalter befindet sich normalerweise in der Stellung 'MAG' und ist durch eine Schutzkappe gesichert (vgl. Anlage 3).

Im Falle einer IRU Störung werden auf den entsprechenden EFIS *displays* die Warnmeldungen ATT oder HDG angezeigt. Mit dem Umschalter ATT/HDG kann auf die intakte IRU umgeschaltet werden (vgl. Anlage 3).

Jede IRU hat eine primäre und eine sekundäre Stromquelle. Die IRU 1 wird primär über den ESS 115 VAC *bus* und sekundär über den BAT 28 VDC *bus* gespeist, während die IRU 2 primär über den 115 VAC2 *bus* und sekundär über den ESS 28 VDC *bus* versorgt wird.

1.6.2.4 Das Flugführungssystem

Das Flugführungssystem (*flight guidance system* – FGS) im AVRO 146-RJ100 beinhaltet im Wesentlichen zwei *flight guidance computer* (FGC), ein *mode control panel* (MCP), ein *thrust rating panel* (TRP), sowie eine Anzahl *servos*, um die Steuerbefehle des FGC umzusetzen. Mit dem Umschalter FGC SELECT im *overhead panel* wird bestimmt, welcher der beiden FGC aktiv sein soll. Der verbleibende FGC steht dann als Reserve unter Strom (*hot spare*) zur Verfügung.

Der FGC übt die folgenden Hauptfunktionen aus:

- *presentation of flight director commands*
- *three axis autopilot control including automatic landing*
- *autothrottle speed and thrust control including thrust rating limits calculation*
- *windshear detection and recovery guidance*
- *elevator trim, flap trim compensation*
- *yaw damper and turn-coordination*
- *aural and visual altitude alerting*
- *built-in fault monitoring and maintenance test system*

Der FGC erzeugt *flight director commands* für die folgenden Funktionen:

- *acquisition and holding of airspeed, mach, vertical speed and altitude*
- *acquisition and holding of a selected heading*
- *capture and holding of a selected VOR radial or localizer beam*
- *capture and holding of a glide slope beam*
- *tracking of a flight plan calculated by the flight management system*
- *commands for take off and go around*
- *windshear recovery guidance*

Flight director commands werden auf dem EFIS *primary flight display* (PFD) dargestellt und vom Piloten umgesetzt. Ist der Autopilot eingeschaltet, so werden die vom FGC gerechneten Steuerbefehle direkt via *servos* ausgeführt.

Auf dem *mode control panel* (MCP) werden *airspeed, mach, heading, clearance altitude* und *vertical speed* gewählt. Ebenso werden auf dem MCP *flight director/autopilot modes* gewählt resp. vorgewählt. Diese werden auf den *primary flight displays* (PFD) zur Bestätigung angezeigt. *Flight director* (FD), *autopilot* (AP) und *autothrottle* (AT) werden auf dem MCP armiert respektive aktiviert.

Die beiden FGC erhalten unter anderem Signale von beiden IRS (*attitude, heading*). Die eingehenden Signale werden laufend verglichen. Für den Betrieb des Autopiloten müssen gültige Signale vom IRS 1 und IRS 2 vorhanden sein.

Mit den *pushbuttons* NAV1 resp. NAV2 wird der Autopilot aktiviert (*engaged*) und gleichzeitig eine Selektion der Quellen für die Navigationsdaten vorgenommen. Mit einem *pushbutton* am linken bzw. rechten Steuerhorn kann der Autopilot ausgeschaltet werden.

Der FGC berechnet für verschiedene Konfigurationen des Flugzeuges eine maximale und eine minimale zulässige Geschwindigkeit. Auch bezüglich der Flugla-

ge sind Grenzwerte programmiert. Eine der Aufgaben des Autopiloten ist es, das Flugzeug innerhalb der vorgegebenen *speed/attitude envelope* zu halten.

Die *autothrottle* Funktion des FGC dient zur Steuerung der Triebwerkleistung. Es kann damit eine Fluggeschwindigkeit (*speed/mach*) oder eine definierte Leistung (*thrust rating*) gehalten werden.

Wenn der AP/FD aktiviert ist, so ist der *autothrottle mode* abhängig von dessen *vertical mode*. Der *autothrottle* hält die gewählte Geschwindigkeit, wenn sich der AP/FD in einem der folgenden *vertical modes* befindet: *vertical speed*, *altitude hold* oder *glide slope*. Der *autothrottle* hält die am *thrust rating panel* (TRP) gewählte Leistung, bei folgenden *vertical modes*: *take-off*, *go-around* oder *level change climb*. Der *autothrottle* nimmt die Triebwerkleistung zurück bei: *level change descent* oder *autoland flare*.

Die zu haltende Geschwindigkeit wird am *mode control panel* (MCP) gewählt. Am TRP können folgende *trust ratings* gewählt werden: TOGA MAX, TOGA REDU, CLIMB MAX, CLIMB NORM and MCT.

Autopilot, *flight director* und *autothrottle* können einzeln oder in jeder Kombination verwendet werden.

Das *flight guidance system* FGS 1 wird vom ESS 115 VAC, 28 VDC1, ESS 28 VDC, EMERG 28 VDC, ESS/BATT *bus* gespeist. Das FGS 2 vom 115 VAC2, 28 VDC2, EMERG 28 VDC und ESS/BATT *bus*.

1.6.2.5 Querlagen-Warnung

Die HB-IXP ist mit einem *enhanced ground proximity warning system* (EGPWS) ausgerüstet. Dieses generiert verschiedene Warnungen, die der *situational awareness* dienen. Unter anderem überwacht das EGPWS die Querlage und gibt eine akustische Warnung "*bank angle*" aus, wenn diese ein bestimmtes Mass überschreitet. Die Ansprechschwelle ist von der Höhe über Grund abhängig.

Die Querlagereferenz wird vom *inertial reference system* – IRS geliefert. Das IRS 1 wie auch das IRS 2 sind an das EGPWS angeschlossen. Im Normalfall liefert das IRS 1 die Lagereferenzsignale. Fällt das IRS 1 ganz aus, schaltet das EGPWS automatisch auf das IRS 2 um. Diese Situation zeigt sich im Cockpit durch die roten Warnanzeigen ATT und HDG auf dem EFIS *display* des Kommandanten.

1.6.2.6 Distance Bearing Indicator

Der AVRO 146-RJ100 ist mit zwei *distance bearing indicators* (DBI) ausgerüstet. Je ein DBI befindet sich links neben dem EFIS *navigation display* (ND).

Der DBI bringt die folgenden Navigationsdaten zur Anzeige: *magnetic heading*, DME 1 *distance*, DME 2 *distance*, *bearing 1* und *bearing 2*. Das *bearing* kann wahlweise zwischen VOR und ADF umgeschaltet werden.

Die Steuerkurs Information (*heading*) auf der Seite des Kommandanten stammt im Normalfall vom IRS 2. Bei Ausfall des ESS DC *bus* wird automatisch auf IRS 1 umgeschaltet. Der DBI des Copiloten bezieht das *heading* immer vom IRS 1.

Das *heading* auf dem DBI bezieht sich immer auf den magnetischen Nordpol. Der ATT HDG *transfer switch* hat keinen Einfluss auf das *heading* des DBI. Ein Ausfall der *heading* Information wird durch eine rote Warnflagge mit der Aufschrift HDG angezeigt.

1.6.2.7 Instrumente für den Notfall

Für den Notfall, d.h. bei Ausfall beider *inertial reference systems* (IRS), oder beider *air data computer* (ADC), oder beider *electronic flight instrument systems* (EFIS) oder der entsprechenden Stromversorgung stehen sogenannte *standby instruments* zur Verfügung.

Für die Fluglagereferenz steht der *standby attitude indicator* zur Verfügung. Dieser befindet sich im linken Instrumentenpanel und wird für den Antrieb des internen Kreisels (*gyro*) mit Strom vom EMERG DC BUS versorgt. Der EMERG DC BUS kann im Notfall von der Batterie gespeist werden. Der *standby attitude indicator* kann zusätzlich die *localizer deviation* und die *glide slope deviation* vom ILS 1 anzeigen.

Der *standby compass* dient für die Anzeige des magnetischen Steuerkurses. Er ist zwischen den beiden Frontscheiben montiert und benötigt ausser für die Innenbeleuchtung keinen Strom.

Für die Anzeige von Höhe und Geschwindigkeit dient der kombinierte *standby altimeter / airspeed indicator*. Dieser befindet sich im linken Instrumentenpanel und ist am *auxiliary pitot / static system* angeschlossen. Für die interne Beleuchtung, den *altimeter vibrator* und die Heizung der *auxiliary pitot tube* bezieht das Instrument Strom vom EMERG DC BUS. Der EMERG DC BUS kann im Notfall von der Batterie gespeist werden.

1.6.3 Technische Massnahmen unmittelbar nach dem schweren Vorfall

Nach dem schweren Vorfall des Fluges LX 5187 wurde durch die Besatzung im Tech Log folgendes eingetragen:

"T/O FGC 2 / AT 1000 FT FGC 2 U/S / CHANGE TO FGC 1 / INFLIGHT CHANGE AGAIN TO FGC 2 → NORMAL OPS AGAIN WITH FGC 2. AT 7 NM AT+A/P DISCONNECT / LEFT PFD BLACK + "ATT" RED / CHANGE TO FGC 1 / ALL DIFF. INDICATIONS BETWEEN LEFT+RIGHT+STDBY HORIZON. FGC 2 U/S + IRS FAULT SUSPECTED."

Aufgrund dieses Eintrages wurden am Flugzeug HB-IXP die IRU 1 und der *standby horizon* ausgebaut und der Werkstatt zugeführt.

Der Werkstattbefund (*shop findings*) zeigte folgendes:

- Der *standby horizon* (P/N H341AZM, S/N 9214) wies keine Fehler auf.
- Die IRU (P/N HG2001BC02, S/N 94070284) zeigte erst nach diversen Prüfungen eine Störung (vgl. Kapitel 1.16).

1.7 Meteorologische Angaben

1.7.1 Allgemeine Wetterlage

In der Höhe erstreckte sich ein Trog von der Nordsee bis nach Slowenien. Die Achse verlief um Mitternacht direkt über die Schweiz und schwenkte während des Vormittags langsam nach Osten. Unterhalb von 3000 Metern strömte maritime Polarluft von Irland über die Biskaya zur Alpennordseite. Das Zentrum des wetterbestimmenden Tiefs verharrte am Vormittag zwischen Prag und Warschau.

1.7.2 Lokales Wetter und Sicht

Am Morgen fiel gelegentlich Regen, zum Teil schwacher Niesel. In der zweiten Hälfte des Vormittags verblieben der Flughafen Zürich-Kloten und der Anflugsektor der Piste 14 im Lee des Schwarzwaldes trocken. Die Sicht betrug ab 09:00 UTC mindestens 10 Kilometer. Bis um 12:00 UTC nahm sie laut SYNOP Meldung von LSZH (WMO 06670) auf 25 Kilometer zu.

1.7.3 Windverhältnisse

Zwischen 09:00 UTC und 11:00 UTC zeigte der Windprofiler von Schaffhausen unterhalb von 800 m AMSL Wind aus WSW mit 20 bis 30 Knoten. Darüber herrschte bis auf 3000 m AMSL ein homogenes Windfeld. Der Wind wehte aus 270 Grad mit einer mittleren Geschwindigkeit von 25 bis 30 Knoten. Gemäss METAR Meldungen von LSZH wehte der Wind am Boden aus 220 bis 240 Grad mit knapp 10 Knoten. Nach 10:00 UTC bestand vorübergehend die Tendenz zu variierender Richtung zwischen 190 und 270 Grad bei einer mittleren Geschwindigkeit von 9 Knoten.

Windscherung herrschte vor allem unterhalb von 1000 m AMSL. Sie bestand aus Richtungs- und Geschwindigkeitsscherung.

1.7.4 Wolken

Der Himmel war während des ganzen Vormittags stark bewölkt. Von 08:50 UTC bis 09:20 UTC lag der Plafond auf 2000 ft AGL. Bis um 09:50 UTC stieg er auf 2500 ft AGL. Ab 10:20 UTC lag die Hauptwolkenuntergrenze bei 3000 ft AGL. Bis um 09:50 UTC hielten sich 2-4/8 auf 1200 ft AGL. Anschliessend stieg die Basis auf 1500 ft AGL. Zudem wurden 1-2/8 auf 800 ft AGL beobachtet.

1.7.5 Wettermeldung von Flughäfen

In der Zeit von 09:20 UTC bis zum schweren Vorfall waren die folgenden Wettermeldungen für den Flughafen Zürich (*meteorological aviation routine weather report – METAR*) gültig:

METAR LSZH 200920Z 23009KT 9999 FEW008 SCT012 BKN020 13/11 Q1011 TEMPO BKN012=

METAR LSZH 200950Z 23009KT 9999 FEW008 SCT012 BKN025 13/11 Q1011 NOSIG=

Im Klartext bedeutet dies:

Am 20. Juli 2011 wurden kurz vor der Ausgabezeit der Flugplatzwettermeldung von 09:50 UTC auf dem Flugplatz Zürich-Kloten die folgenden Wetterbedingungen beobachtet:

Wind	Aus 230° mit 9 kt
Meteorologische Sicht	mehr als 10 km
Bewölkung	1-2/8 auf 800 ft AAL 3-4/8 auf 1200 ft AAL 5-7/8 auf 2500 ft AAL
Temperatur	13°C
Taupunkt	11°C
Luftdruck	1011 hPa, Druck reduziert auf Meereshöhe, berechnet mit den Werten der ICAO-Standardatmosphäre.
Landewetterprognose	In den zwei Stunden, die auf die Wetterbeobachtung folgen, sind keine signifikanten Wetteränderungen zu erwarten.

1.7.6 ATIS-Meldungen des Flughafens Zürich

Am 20. Juli 2011 wurde durch den Flughafen Zürich ab 09:20 UTC bis 09:50 UTC das folgende *arrival* ATIS (*automatic terminal information service*) ausgestrahlt:

THIS IS ZÜRICH ARRIVAL INFORMATION FOXTROTT.

LANDING RUNWAY 14 ILS APPROACH .

MET REPORT ZURICH.

0920.

WIND 220 DEGREES 7 KNOTS.

VISIBILITY 10 KILOMETRES OR MORE TOUCH DOWN ZONE 10 KILOMETRES OR MORE.

CLOUD FEW 8 HUNDRED FEET SCATTERED 1 THOUSAND 2 HUNDRED FEET BROKEN 2 THOUSAND FEET.

TEMPERATURE 13.

DEWPOINT 11.

Q.N.H 1011.

TREND TEMPORARY BROKEN 1 THOUSAND 2 HUNDRED FEET.

TRANSITION LEVEL 75.

GLIDE PATH I.L.S RUNWAY 28 UNSERVICEABLE.

AIRMET 2. VALID BETWEEN 0600 AND 1000.

GENEVA AND ZURICH AREA SWITZERLAND F.I.R MODERATE ICING OBSERVED ALPS AND NORTH OF ALPS BETWEEN FLIGHT LEVEL 80 AND FLIGHT LEVEL 140 STATIONARY WEAKENING.

AIRMET 3. VALIS BETWEEN 0600 AND 1000.

GENEVA AND ZURICH AREA SWITZERLAND F.I.R MODERATE TURBULENCE FORECAST BETWEEN 3 THOUSAND FEET AMSL AND FLIGHT LEVEL 130 STATIONARY INTENSITY NO CHANGE.

ZÜRICH INFORMATION FOXTROTT.

1.7.7 Flughafenwettervorhersage

Zur Zeit des schweren Vorfalls war die folgende Flughafenwettervorhersage (*terminal aerodrome forecast – TAF*) gültig:

LSZH 200525Z 2006/2112 23009KT 8000 FEW010 SCT020 BKN040 TX16/2015Z TN12/2006Z TN09/2104Z TEMPO 2006/2016 4000 SHRA BECMG 2018/2021 SCT050 PROB30 TEMPO 2103/2106 2500 BCFG TEMPO 2110/2112 SHRA=

Im Klartext bedeutet dies: Am 20. Juli 2011 um 05:25 UTC wurden für den Flughafen Zürich-Kloten für die Zeit von 06:00 UTC bis zum 21. Juli 2011 um 12:00 UTC folgende Wetterbedingungen vorhergesagt:

Wind	aus 230° mit 9 kt
Meteorologische Sicht	8000 Meter
Bewölkung	1-2/8 auf 1000 ft AAL 3-4/8 auf 2000 ft AAL 5-7/8 auf 4000 ft AAL
Temperaturen	am 20. Juli 2011 maximal 16° um 15:00 UTC am 20. Juli 2011 minimal 12° um 06:00 UTC am 21. Juli 2011 minimal 9° um 04:00 UTC

Bedingte Vorhersage am 20. Juli 2011 ist zwischen 06:00 UTC und 16:00 mit UTC mit zeitweiligen Schwankungen zu rechnen; im einzelnen Fall weniger als eine Stunde, gesamthaft weniger als fünf Stunden, beträgt die Sicht 4000 Meter mit Regenschauern. Zwischen 18:00 UTC und 21:00 UTC beträgt die Bewölkung 3-4/8. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 30% ist am 21. Juli zwischen 03:00 UTC und 06:00 UTC mit einer Sicht von 2500 Metern mit einzelnen Nebelbänken zu rechnen.

1.8 Navigationshilfen

1.8.1 Allgemeines

Sämtliche Navigationshilfen befanden sich zum Zeitpunkt des schweren Vorfalles im Normalbetrieb und standen uneingeschränkt zur Verfügung.

1.8.2 Radarüberwachung von Anflügen

Gemäss Arbeitsplatzdokumentation ist es Aufgabe des APP/FINAL Flugverkehrsleiters (FVL), nach Möglichkeit den von der Besatzung geflogenen Flugweg zu überwachen.

Die Anflugsektoren der Pisten 14, 16 und 28 sind mit einem *minimum safe altitude warning system* (MSAW) ausgerüstet. Beim MSAW handelt es sich um ein Sicherheitssystem, das bei Unterschreitung vordefinierter Mindesthöhen in der Flugverkehrsleitung einen optischen und akustischen Alarm auslöst.

Aus den Radaraufzeichnungen lässt sich entnehmen, dass das MSAW zu keinem Zeitpunkt angesprochen hat.

1.9 Kommunikation

Der Funkverkehr zwischen den Piloten und der ATC wickelte sich ordnungsgemäss und ohne Schwierigkeiten ab.

1.10 Angaben zum Flughafen

1.10.1 Allgemeines

Der Flughafen Zürich liegt im Nordosten der Schweiz. Im Jahre 2010 wurde auf ihm ein Verkehrsvolumen von 268 765 An- und Abflügen abgewickelt.

Die Bezugshöhe des Flughafens beträgt 1416 ft AMSL und als Bezugstemperatur sind 24.0 °C festgelegt.

1.10.2 Pistenausrüstung

Die Pisten des Flughafens Zürich weisen folgende Abmessungen auf:

Pistenbezeichnung	Abmessungen	Höhe der Pistenschwellen
16/34	3700 x 60 m	1390/1388 ft AMSL
14/32	3300 x 60 m	1402/1402 ft AMSL
10/28	2500 x 60 m	1391/1416 ft AMSL

Im Zeitpunkt des schweren Vorfalles standen 3300 m Pistenlänge für eine Landung auf Piste 14 zur Verfügung.

Der Flughafen Zürich zeichnet sich durch ein System von drei Pisten aus, wobei sich zwei dieser Pisten (16 und 28) im Bezugspunkt (*airport reference point*) kreuzen. Die Anflugschneisen zweier weiterer Pisten (16 und 14) schneiden sich ungefähr 850 Meter nordwestlich der Pistenschwelle 14. Die Pisten 16 und 14 sind mit einem Instrumentenlandesystem (ILS) der Kategorie III ausgerüstet und die Piste 34 mit einem ILS der Kategorie I. Die Piste 28 ist mit einem ILS ohne Klassifizierung (*uncategorized*) ausgerüstet, welche ein gegenüber der Kategorie I erhöhtes Wetterminima aufweist. Die Pisten eignen sich somit für *precision approaches*.

1.11 Flugschreiber

1.11.1 Flugdatenschreiber

Muster	<i>solid state flight data recorder (SSFDR)</i>
Hersteller	Honeywell
Baujahr	1997
Werknummer	2494
P/N (<i>part number</i>)	980-4700-003
Anzahl Parameter	64
Aufzeichnungsmedium	<i>non volatile memory</i>
Aufzeichnungsdauer	ca. 50 Stunden

Die Daten des Flugdatenschreibers wurden grundsätzlich lückenlos aufgezeichnet und konnten ausgewertet werden. Eine Ausnahme bildeten diejenigen Parameter, insbesondere Lagewinkel (*pitch*) und Querlage (*bank angle*), die allein von der IRU 1 bezogen wurden und deshalb nach deren Ausfall nicht mehr zur Verfügung standen.

1.11.2 Cockpit voice recorder

Da nach dem Flug die *circuit breaker* des *cockpit voice recorder (CVR)* nicht gezogen wurden, waren die Aufzeichnungen des Fluges überschrieben worden.

1.12 Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle

Nicht betroffen.

1.13 Medizinische und pathologische Feststellungen

Es liegen keine Anhaltspunkte für gesundheitliche Störungen der Piloten während des Fluges vor.

1.14 Feuer

Nicht betroffen.

1.15 Überlebensaspekte

Nicht betroffen.

1.16 Versuche und Forschungsergebnisse

Aufgrund des Ausfalls des *flight director (FD)* und des *autothrottle (AT)* nach dem Start in Nürnberg wurde nach der Landung das *maintenance memory* des FGC 2 analysiert. Dieses hatte einen Fehler der IRU 1 gespeichert. Ebenso zeigten die

im Flugzeug aufgezeichneten Daten zum Zeitpunkt des Ausfalls von FD und AT instabile Parameter der IRU 1. Während des Anfluges in Zürich verursachte die IRU 1 erneut einen Ausfall des FD, AT und AP.

Die IRU 1 wurde nach der Landung ausgebaut und der Reparaturwerkstatt der Honeywell in Europa zur Kontrolle übergeben. Auf dem Prüfstand zeigte die IRU keine Unregelmässigkeiten.

Die IRU wurde darauf für eine weitere Untersuchung ans Labor der Honeywell in Minneapolis geschickt. Auch hier konnte auf dem Prüfstand die Störung nicht dupliziert werden.

Schliesslich wurde die IRU einem sogenannten *burn in test* unterzogen. Bei diesem Test traten Fehler auf und es wurden drei Komponenten ersetzt. Es kann nicht mit Gewissheit ausgesagt werden, ob diese drei Komponenten einen direkten Einfluss auf den Ausfall der IRU während dem Flug LX5187 hatten.

Beim *burn in test* werden insbesondere neu hergestellte Geräte unter strengen Umweltbedingungen getestet. Man geht davon aus, dass "schwache" elektronische Teile unter solchen Bedingungen nach wenigen Betriebsstunden versagen.

1.17 Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung

1.17.1 Das Flugbetriebsunternehmen

Das Flugbetriebsunternehmen Swiss European Air Lines ist eine 100-prozentige Tochtergesellschaft der Swiss International Air Lines. Diese hatte sich im Frühling 2005 entschieden, den Regionalverkehr in eine separate Betriebsgesellschaft auszugliedern.

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) erteilte der Swiss European Air Lines die Betriebsbewilligung per 1. November 2005. Swiss European Air Lines führt im Auftrag der Muttergesellschaft Swiss International Air Lines so genannte "*wet lease*" Flüge durch. Alle Flugzeuge der Regionalflotte der Swiss International Air Lines wurden in die neue Gesellschaft überführt.

1.17.2 Betriebliche Verfahren im Umgang mit Störungen

Im *operations manual B* (OM B) des Flugbetriebsunternehmens wird im Kapitel 1.03.10 "*abnormal procedures*" beschrieben, wie in abnormalen- oder Notsituationen vorgegangen werden muss. So steht unter anderem:

"Whenever confronted with an emergency or abnormal situation, the highest priority lies in the proper flying and monitoring of the aircraft. Crew duties must be distributed clearly, basically the following sequence applies:

Power	<i>The PF takes the initiative, he checks thrust and orders the appropriate setting for operative engines.</i>
Performance	<i>The PF checks configuration and minimum/maximum speed.</i>
Analysis	<i>The PIC assesses and manages the situation, he checks the time limits and sets priorities.</i>
Action	<i>The PIC manages and allocates duties. Action shall be taken according to Abnormal and Emergency Checklist (ACL/ECL) and OM A/OM B operating procedures (e.g. SPORDEC).</i>

(...)"

Unter "*HANDLING OF CAUTIONS AND WARNINGS*" steht im gleichen Kapitel unter anderem:

"GENERAL

When a warning/caution or advisory situation arises in flight, the **PF** shall as a principle:

- Assess the performance situation by starting with **Power, Performance**.
- On ground, **PP** shall be adapted accordingly

The **PNF** shall:

- Call out the warning/caution or advisory as indicated on the Central warning Panel (CWP)/overhead panel or Central Status Panel (CSP).
- Reset the warning/caution lights (attention getters) by the order of the **PF**.

It is essential that one pilot flies the aircraft, while the other deals with the technical problem. Nonetheless it is very important, that the **PNF** monitors flight progress whilst handling the technical malfunction (checklist work).

Abnormal procedures shall be started after careful analysis of available information.

(...)"

1.17.3 Zusammenarbeit im Cockpit

Aus der Erfahrung zahlreicher Unfälle, bei denen eine mangelhafte Zusammenarbeit der einzelnen Besatzungsmitglieder ein kausaler Faktor war, wurde zu Beginn der Achtzigerjahre des letzten Jahrhunderts das sogenannte *crew resource management* (CRM) als Schulung für Flugbesatzungen entwickelt und in der Folge als Bestandteil in die Aus- bzw. Weiterbildung von Verkehrspiloten aufgenommen. *Crew resource management* soll das Bewusstsein dafür schärfen, dass neben dem technischen Verständnis an Bord eines Luftfahrzeugs der zwischenmenschliche Bereich ein entscheidender Faktor für eine sichere Flugdurchführung ist.

Beide Piloten hatten im Laufe ihrer Aus- und Weiterbildung regelmässig an solchen CRM Kursen teilgenommen und erhielten die entsprechenden Kenntnisse vermittelt.

1.17.4 Refresherkurse im Simulator

In den vom Flugbetriebsunternehmen durchgeführten Refresherkursen im Simulator wurde zum Beispiel in der ersten Jahreshälfte des Jahres 2011 eine Übung mit einem Totalausfall der elektrischen Versorgung durchgeführt. Bei dieser Übung hatte der Kommandant nur noch die Anzeigen der *standby instruments* zur Verfügung und musste mit diesen einen Anflug auf die Piste 27R in London Heathrow durchführen. Der Kommandant hatte diesen *refresher* am 4. Mai 2011, gut zwei Monate vor dem schweren Vorfall, absolviert.

Im Weiteren wurde im *refresher* in der zweiten Jahreshälfte des Jahres 2010 das Fliegen nach *raw data*⁴ geübt. Es musste ein ILS Anflug mit anschliessendem Durchstart auf der Piste 23 in Genf geflogen werden. Der Cheffluglehrer des Flugbetriebsunternehmens verfasste dazu eigens eine Information an die Piloten (EORE Info vom 16. Juli 2010) worin er unter anderem folgendes festhielt:

"In the second semester, the Special Refresher program includes an AEO [all engines operative] raw-data approach into Geneva, whereby both pilots, Captain and First officer, will have the chance to perform this exercise as pilot flying.

⁴ *raw data*: beim Fliegen nach *raw data* erfolgt die Flugführung manuell und ausschliesslich auf Grund der Anzeigen der primären Fluginstrumente und der Navigationsanzeigen, zum Beispiel des Instrumentenlandesystems. Dabei muss der Pilot die jeweilige Fluglage zum Erzielen eines dreidimensionalen Flugweges selber abschätzen.

The value of up-to-date basic flying skills is beyond any doubt; pilots should also be able to safely fly the aeroplane by instruments without the assistance of the FD (e.g. dual FGC failure).

The purpose of this EORE Info is to provide our flight crews with the recommendations and techniques to successfully master a raw-data approach. (...)"

Im Folgenden wird in dieser EORE Info ausnehmend detailliert darauf hingewiesen, welche Punkte beachtet werden sollten, um einen möglichst erfolgreichen Anflug und Durchstart durchführen zu können. So wird explizit auf eine Tabelle mit Lagewinkel- und Triebwerkleistungsdaten (*pitch & power table*) verwiesen, wobei unter anderem folgendes erwähnt wird:

"Flight crews should be familiar with the approximate pitch for each flight manoeuvre."

Beide Piloten hatten diesen *refresher* absolviert. Dabei muss festgehalten werden, dass gemäss Angaben des Flugbetriebsunternehmens Refresherübungen grundsätzlich nicht qualifiziert werden, ausgenommen, es treten dabei extreme Schwächen auf, welche eine Reaktion des Flugbetriebsunternehmens erfordern.

Bei beiden Piloten war dies gemäss den die Übung durchführenden Instruktoren nicht der Fall.

1.18 Zusätzliche Angaben

Am 30. Juli 2011 trat auf dem Flug LX0771, durchgeführt mit dem gleichen Flugzeug HB-IXP, nach dem Start in Brüssel eine Mehrfachstörung am Navigationssystem auf. Der Flug wurde abgebrochen.

Gemäss Rapport der Besatzung erschienen bei ca. 600 ft über Grund die roten Warnanzeigen ATT und HDG auf den EFIS *displays* des Copiloten. Die Kompassrose auf dem DBI des Kommandanten begann kontinuierlich zu drehen. Beide Störungen wurden dem *inertial reference system* (IRS) 2 zugeschrieben. Die Besatzung schaltete gemäss *abnomal checklist* (ACL, 14.04) den ATT/HDG *transfer switch* in die Stellung "BOTH 1", worauf sich die Daten auf den EFIS *displays* des Copiloten normalisierten. AP, AT und FD konnten nicht mehr zugeschaltet werden. Dies entspricht dem normalen Betriebsverhalten des Systems.

Auf ca. 2300 ft über Grund begann die *vertical speed* auf dem *primary flight display* (PFD) 1 fehlerhaft und instabil anzuzeigen.

Die Besatzung brach den Flug ab, steuerte das Flugzeug von Hand nach *raw data* und verlangte bei der Flugverkehrsleitung eine Radarführung für einen Anflug in Brüssel. Eine Minute nach der Landung fiel während dem Rollen das IRS 1 aus.

Am Standplatz liessen sich beide IRS wieder normal aufrichten. Trotzdem wurden beide *inertial reference units* (IRU) und das IRS *control panel* sicherheitshalber ausgewechselt.

Eine Analyse des *maintenance memory* im FGC bestätigte den Ausfall der IRU 2 bei 600 ft, ebenso das fehlerhafte *vertical speed signal* bei der IRU 1.

Die Auswertung der Daten des Flugschreibers ergab folgendes:

Alle Daten der IRU 2 wurden anfänglich instabil und schliesslich fiel die IRU 2 ganz aus.

Der *vertical speed output* der IRU 1 begann bei ca. 500 ft über Grund instabil zu werden und blieb für den Rest des Fluges instabil.

Der Werkstattbefund ergab folgendes:

Bei der IRU 1 konnte der während des Fluges aufgetretene Fehler (unstabile *vertical speed*) nicht eindeutig dupliziert werden. Dennoch wurde der *Y-laser gyro* ersetzt.

Die IRU 2 wurde in der Werkstatt zerlegt. Alle *printed circuit cards* waren stark verschmutzt (Staub und Wasser). Mehrere davon mussten ersetzt werden.

Am IRS *control panel* wurde kein Defekt gefunden.

1.19 Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken

Nicht betroffen.

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Nothorizont

Die Besatzung erwähnte, dass der Nothorizont (*standby horizon*) in der ersten Phase nach dem Ausfall der EFIS *displays* auf der Seite des Kommandanten eine eher unnatürlich hohe *pitch attitude* anzeigte. Die Untersuchung des *standby horizon* zeigte keine diesbezüglichen Fehler.

Aus den aufgezeichneten Höhendaten kann abgeleitet werden, dass das Flugzeug unmittelbar nach dem Ausfall des AP, AT und FD während gut 30 Sekunden mit einer durchschnittlichen Sinkrate (*rate of descent* – ROD) von knapp 1500 Fuss pro Minute (ft/min) absank, gefolgt von einem Steigflug während 80 Sekunden, mit einer durchschnittlichen Steigrate (*rate of climb* – ROC) von gut 1700 ft/min und mit stark erhöhter Triebwerkleistung (vgl. Anlage 2). Hierauf erfolgte innerhalb einer knappen Minute ein Absinken mit einem durchschnittlichen ROD von knapp 2500 ft/min und einem erneuten Steigflug mit einem durchschnittlichen ROC von gut 2600 ft/min. Die geringe Masse des Flugzeuges (keine Passagiere und wenig Treibstoff) könnte dazu beigetragen haben, dass kurzfristig eine *pitch attitude* eingenommen wurde, welche die Besatzung auf dem *standby horizon* als unnatürlich empfand.

2.1.2 Verhalten der IRU während des Fluges

Nach dem Start in Nürnberg, ca. 400 ft über Grund und noch während das Flugzeug manuell geführt wurde, fielen der *flight director* (FD) und der *auto throttle* (AT) aus. Zu diesem Zeitpunkt war der FGC 2 gewählt. Der Flug wurde durch den Copiloten manuell fortgesetzt. Etwas später schaltete der Kommandant auf den FGC 1 um. Autopilot (AP), FD und AT liessen sich normal zuschalten.

Eine Analyse der aufgezeichneten Daten ergab, dass der Ausfall des FD und des AT durch die *inertial reference unit* (IRU) 1 verursacht wurde, welche unstabile Daten generierte. Wenige Sekunden später normalisierten sich die Daten wieder, was der Grund dafür war, dass sich der AP, FD und AT problemlos zuschalten liessen.

Es muss festgehalten werden, dass unter diesen Umständen der Ausfall des FD und des AT nach dem Start auch passiert wäre, wenn der FGC 1 von Anfang an gewählt gewesen wäre, weil beide FGC die Daten beider IRS erhalten. Generiert eines der beiden IRS unstabile Daten oder fällt ein IRS ganz aus, fallen unabhängig des gewählten FGC der AT, der FD und der AP (sofern eingeschaltet) aus (vgl. Kapitel 1.6.2.4).

Die von der IRU 1 generierten Daten blieben auch während des Reisefluges instabil. Die Differenz zwischen IRU 1 und IRU 2 blieb jedoch unterhalb der Ansprechschwelle der Signalvergleicher im aktiven FGC und hatte daher keine Auswirkungen. Aus diesem Grund war diese Differenz für die Besatzung nicht erkennbar.

In der Warteschleife RILAX schaltete der Kommandant nochmals auf den FGC 2 um. Dieses Umschalten bewirkte, wie oben erwähnt, keine Veränderung. In der Folge blieb der FGC 2 selektiert.

Um 09:51:40 UTC wurden die von der IRU 1 generierten Daten für die Querlageferenz erratisch. Dies führte zum Ausfall des AP, FD und AT. Das sofort vorgenommene Umschalten auf den FGC 1 zeigte wiederum keine Veränderung.

Kurz darauf ertönte im Cockpit die akustische Warnung "bank angle". Diese wurde durch das erratische Querlagereferenzsignal von der IRU 1 im *enhanced ground proximity warning system* (EGPWS) ausgelöst. Die tatsächliche Querlage war in diesem Moment gering.

Die Phase während der die IRU 1 eine erratische Querlagereferenz generierte dauerte von 09:51:40 UTC bis 09:52:04 UTC. Während dieser Zeit wurde im PFD des Kommandanten eine instabile und falsche Querlage angezeigt. Die Anzeigen auf der Seite des Copiloten blieben während dieser Zeit stabil. Ausser dem Verlust des FD hatte der Copilot alle Angaben zum Führen des Flugzeuges zur Verfügung.



Abbildung 1: Instrumentenanzeige auf der Seite des Kommandanten (Die in der Abbildung angezeigten Werte stimmen nicht überein mit denjenigen, die zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls angezeigt wurden).

Um 09:52:04 UTC erschienen auf den EFIS *displays* des Kommandanten die Warnungen ATT und HDG in roter Farbe und die entsprechenden Parameter verschwanden. Die Steuerkursanzeige (*heading*) auf dem DBI links des ND blieb während der ganzen Zeit erhalten, da die entsprechende Information vom IRS 2 geliefert wird (vgl. Abbildung 1 und Kapitel 1.6.2.6).

Auf der Seite des Copiloten erschienen zeitgleich die Anzeigen ATT und HDG in gelber Farbe um auf die unterschiedlichen Signale aufmerksam zu machen. Die Anzeigen zum Führen des Flugzeuges blieben erhalten. Lediglich die Steuerkursanzeige (*heading*) im DBI links des ND zeigte den roten *heading flag*, da die entsprechende Information vom IRS 1 geliefert wird (vgl. Abbildung 2 und Kapitel 1.6.2.6).

Im *symbol generator* (SG) 2 werden unter anderem ATT und HDG Signale verglichen. ATT und HDG Anzeigen (*yellow*) leuchten auf, wenn diese Signale unterschiedlich sind.



DBI (*distance bearing indicator*) mit rotem *heading flag*

Die beiden roten *bearing flags* links und rechts davon weisen darauf hin, dass die VOR *bearing pointers*, welche auf die Kompassrose referenziert sind, nicht mehr zuverlässig anzeigen. Die Distanz zur jeweiligen VOR/DME Station wird normal angezeigt.

Abbildung 2: Instrumentenanzeige auf der Seite des Copiloten (Die in der Abbildung angezeigten Werte stimmen nicht überein mit denjenigen, die zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls angezeigt wurden).

Nach dem Umschalten des EFIS Wählschalters auf die Position "BOTH 2" (vgl. Anlage 3) kehrten die Daten auf den EFIS *displays* des Kommandanten zurück. In dieser Schalterstellung werden die Daten auf den EFIS *displays* des Copiloten auf die linke Seite kopiert. Der FD und AT wurden nun wieder zugeschaltet.

2.1.3 Analyse der IRU Werkstattbefunde

Die Suche nach Fehlern in der IRU 1, wie in Kapitel 1.19 beschrieben, lieferte erst nach längeren und aufwändigen Tests beim Hersteller Ergebnisse. Dabei kann aber nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob diese Befunde für den Ausfall der IRU während des Fluges LX 5187 verantwortlich waren.

Gemäss Aussagen der Besatzung scheint es im Flugbetriebsunternehmen allgemein bekannt zu sein, dass nach dem Start unter anderem AP, AT und FD ausfallen können, wenn das Flugzeug am Boden längere Zeit starken Regenfällen bei geöffneter Kabinentür ausgesetzt war, was im vorliegenden Falle zutraf. Die Besatzungen sind deshalb der Ansicht, dass das Umschalten des FGC in der Regel das Problem löst.

Bemerkenswerterweise brachte die Besatzung die beobachteten Ausfälle in Zusammenhang mit den starken Regenfällen, die vor dem Start in Nürnberg geherrscht hatten. Sie verwiesen dabei auf die in einer technischen Information (EORT Info vom 22.12.2009) beschriebenen Probleme. Diese technische Information beschreibt wohl den Ausfall von AP, AT und FD, sowie weiterer Systeme, bezieht sich aber auf eine fehlerhafte Temperaturmessung des *air data systems* und nicht auf den Einfluss von Feuchtigkeit oder Wasser (vgl. Anlage 4).

Der vorliegende Fall lässt hingegen den Schluss zu, dass hohe Feuchtigkeit, respektive das Eindringen von Wasser in die IRU dazu führt, dass diese instabile Daten generiert. Dies kann auch nur kurzzeitig geschehen und führt nicht zwangsläufig zu einem vollständigen Ausfall der IRU. Die instabilen Daten führen aber unabhängig vom gewählten FGC zu einem Ausfall von AP, AT und FD, wie es hier unmittelbar nach dem Start in Nürnberg der Fall war.

Erhärtet wird diese These durch die Werkstattbefunde des im Kapitel 1.18 beschriebenen abgebrochenen Fluges LX 0771. In diesem Falle wurden an der IRU 2 auf allen *printed circuit cards* Spuren von Staub und Wasser vorgefunden.

Weiter ist anzumerken, dass zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls verschiedene Probleme mit dem *flight guidance system* bekannt waren. Der Ursprung lag allerdings bis zu diesem Fall selten im Bereich der IRS.

Die geschilderte Situation liess die Besatzungen im falschen Glauben, dass beim Ausfall von AP, AT und FD in jedem Fall der FGC der Verursacher sei und ein Umschalten auf den andern FGC das Problem löse.

2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

2.2.1 Verhalten der Besatzung während des Vorfalles

Als nach dem Start in Nürnberg der FD und der AT ausfielen, reagierte die Besatzung aus ihrer Erfahrung heraus mit dem Umschalten auf den FGC 1. Da sie anschliessend den AT, den FD und etwas später den AP wieder zuschalten konnte, war sie überzeugt, das Problem gelöst zu haben. Dass die IRU 1 für den Ausfall verantwortlich war, weil sie instabile Daten lieferte, konnte die Besatzung nicht wissen.

Es entsprach durchaus üblicher Praxis, dass die Besatzung im späteren Verlauf des Fluges wieder auf den FGC 2 umschaltete, um zu sehen, ob alle Funktionen wieder verfügbar seien. Nachdem dies der Fall war, entschied sich der Kommandant, den FGC 2 als aktiven FGC zu belassen, da dies der üblichen Auswahl für diesen Tag entsprach. An Tagen mit geradem Datum wird der FGC 2 verwendet, während an Tagen mit ungeradem Datum der FGC 1 zum Einsatz kommt.

Es ist naheliegend, dass die Besatzung im Anflug auf die Piste 14 in Zürich beim Ausfall des FD, AT und AP im ersten Moment dachte, das Problem nach dem

Start in Nürnberg habe sich wiederholt und liege bei der Wahl des FGC 2. Ein paar Sekunden später fielen die Anzeigen auf dem PFD und ND des Kommandanten aus und die roten Warnanzeigen ATT und HDG erschienen (vgl. Kapitel 2.1.2, Abbildung 1). Dies war ein klarer Hinweis, dass nicht mehr ein Fehler des FGC vorliegen konnte, was die Besatzung offensichtlich nicht realisierte.

Die durch die IRU 1 verursachte Warnung "*bank angle*" irritierte den Copiloten und er schaute auf die Instrumente des Kommandanten, welche infolge des aufgetretenen Fehlers eine Querlage zeigten, die der akustischen Warnung entsprach. Die Anzeigen auf seinem PFD zeigten gemäss seiner Aussage "*wings level*", also keine Querlage. Nun traute er seinen eigenen Instrumenten nicht mehr. Ein Vergleich mit den *standby instruments* hätte der Besatzung gezeigt, dass deren Anzeigen mit den Anzeigen des PFD auf der Seite des Copiloten korrespondierten.

Damit standen alle notwendigen Daten zur Verfügung, um das Flugzeug nach *raw data* manuell auf der ILS zu steuern (vgl. Kapitel 2.1.2, Abbildung 2). Auch eine Landung wäre so aufgrund der herrschenden Wetterverhältnisse möglich gewesen. Die Situation war bezüglich fliegerischer Ausgangslage grundsätzlich vergleichbar mit derjenigen, die der Copilot anlässlich des *refresher* im Jahre 2010 erlebt hatte (vgl. Kapitel 1.17.4).

Der Umstand, dass der Copilot keinen konsequenten Vergleich der zur Verfügung stehenden Fluglageanzeigen vornahm, führte zu einem Teilverlust des Situationsbewusstseins (*situational awareness*). Diese Verunsicherung führte dazu, dass der Copilot Mühe bekundete, das Flugzeug manuell zu führen und in der Folge den Kommandanten nur unzureichend unterstützen konnte. Der starke Westwind wurde zu wenig korrigiert und das Flugzeug driftete gegen Osten von der Landekursebene des ILS weg. Die aufgezeichnete Höhe dieser Flugphase zeugt von einer wechselhaften und unstabilen *pitch attitude* (vgl. Anlage 2).

Das zuvor geäußerte Misstrauen des Copiloten bezüglich der Anzeigen seiner Instrumente veranlasste den Kommandanten, die Steuerung des Flugzeuges zu übernehmen. Zu diesem Zeitpunkt hatte er jedoch bereits keine Anzeigen mehr auf seinem EFIS, was ein Fliegen nach den Notinstrumenten (*standby instruments*) verlangte. Da er sich bezüglich Führen des Flugzeuges nicht mehr auf den Copiloten verlassen konnte, wickelte er auch noch weiterhin den Sprechfunkverkehr ab. Diese Arbeitsaufteilung entspricht grundsätzlich der Situation beim Abarbeiten einer *abnormal* oder *emergency checklist*.

Im vorliegenden Fall erschwerte diese Arbeitsaufteilung die Situation erheblich, weil sie zu einer zeitweiligen Überlastung des Kommandanten führte. Dies zeigt sich insbesondere darin, dass in der Folge wesentliche Flugparameter in einer Weise variierten (vgl. Anlage 2), die nicht auf eine kontrollierte Flugführung schliessen lassen. Die Frage stellt sich deshalb, ob diese Arbeitsaufteilung, welche auch die sonst übliche gegenseitige Kontrolle der Besatzungsmitglieder (*closed loop principle*) erschwert, in einer solchen Notsituation angemessen ist.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass die Flugzeugführung nur mit Hilfe der Notinstrumente sehr anspruchsvoll ist, da die Instrumente aufgrund ihrer Bauweise und ihrer Anordnung auf dem Instrumentenbrett nur mit einer gewissen Parallaxe abgelesen werden können. Auch die Grösse und die Skalierung der Instrumente erschweren das Ablesen von Fluglage, Höhe und Geschwindigkeit. Es ist deshalb denkbar, dass ein Teil der in diesem schweren Vorfall aufgetretenen Fluktuationen von Fluglage, Höhe und Geschwindigkeit darauf zurückzuführen sind, dass das Ablesen der Anzeigewerte (*scanning*) für den Kommandanten schwieriger geworden war. Weiter führte das Einfahren der Landeklappen in dieser Phase zu einer Momentenänderung am Flugzeug, die über die Steuer oder die

Trimmung ausgeglichen werden musste. Im Weiteren wirkte sich die Schuberrhöhung aufgrund der geringen Nutzlast des Flugzeuges markant aus.

Eine Analyse der Situation – entsprechend dem ersten "A" des Grundsatzes "PPAA" (vgl. Kap. 1.17.2) – wurde, wenn überhaupt, nicht konsequent durchgeführt. Es hätte sonst klar werden müssen, dass der Copilot auf seiner Seite, ausgenommen des *flight director* (FD), alle Anzeigen zur Führung des Flugzeuges zur Verfügung hatte (vgl. Kapitel 2.1.2, Abbildung 2). Damit war er eindeutig in der besseren Ausgangslage, um das Flugzeug zu führen.

Dieses Verhalten der Besatzung scheint auf den ersten Blick erstaunlich, weil beiden Piloten in den Qualifikationen von den entsprechenden Instruktoren ausnahmslos bestätigt wurde, dass sie konsequent nach den Vorgaben des Betriebsunternehmens (PPAA und CRM) arbeiten würden. Diese Diskrepanz lässt sich einerseits auf die zeitweilige Überlastung der Besatzung durch die Situation und andererseits auf den Umstand zurück führen, dass CRM und Handlungsmuster wie PPAA im Simulator nur begrenzt realistisch geübt werden können.

Bemerkenswerterweise meldete der Kommandant dem Flugverkehrsleiter wenig später, dass die Besatzung über keinerlei Kursinformationen (*heading*) verfügen würde. Tatsächlich wurde zu diesem Zeitpunkt auf dem *distance bearing indicator* (DBI) des Kommandanten ein korrektes *heading* angezeigt (vgl. Kapitel 2.1.2, Abbildung 1). Auch der Copilot hatte auf seinen EFIS *displays* eine gültige Kursanzeige. Der Umstand, dass die Besatzung diese offensichtlich vorhandenen Anzeigen nicht wahrnahm zeigt, wie irritiert sie zu diesem Zeitpunkt gewesen sein muss.

Grundsätzlich ist es Piloten des Flugzeugmusters AVRO 146 bekannt, dass der Kompass auf den DBI übers Kreuz gespeist wird, d.h. der Kompass im DBI links vom IRS 2 und der Kompass im DBI rechts vom IRS 1. Es scheint aber, dass diese grundlegenden Systemkenntnisse durch die Besatzung als Folge der entstandenen Drucksituation nicht abgerufen werden konnten. Sie hätten im vorliegenden untersuchten schweren Vorfall geholfen, eine bessere Situationsanalyse vorzunehmen.

Bedingt durch die mangelhafte Situationsanalyse setzte sich die Besatzung unter Druck. Davon zeugen auch die Aufzeichnungen des Sprechfunkverkehrs, welche belegen, dass der FVL öfters Fragen wiederholen musste oder das Rücklesen von Anweisungen durch die Besatzung unvollständig war.

Der Grund, warum die Besatzung die Situation nur unzureichend analysierte liegt mit grosser Wahrscheinlichkeit darin, dass sie beim Ausfall von *autopilot*, *autothrust* und des *flight director* davon überzeugt war, mit dem gleichen Problem konfrontiert zu sein, wie nach dem Start in Nürnberg. Die Besatzung führte deshalb den erneuten Ausfall der FGC-Funktionen wiederum auf einen Fehler des *flight guidance computer* (FGC) zurück. Diese Schlussfolgerung war schon beim Start in Nürnberg nicht zutreffend und führte zu einer vorgefassten Meinung, die zur Folge hatte, dass die Besatzung nach dem Ausfall der Anzeigen auf der Kommandantenseite nun fälschlicherweise von einem Ausfall zweier unabhängiger Systeme (*double failure*) ausging.

Die Besatzung flog daraufhin während rund sieben Minuten in der Annahme, keine Steuerkursinformationen zu haben. Die Aussagen der Besatzung und die Auswertung der Funkgespräche lassen den Schluss zu, dass der Kommandant in dieser Phase kaum Unterstützung vom Copiloten erhielt. Auch wenn der CVR (*cockpit voice recorder*) überschrieben war und die Gespräche im Cockpit deshalb der Untersuchung nicht zu Verfügung standen, kann aus den erwähnten Quellen geschlossen werden, dass die Zusammenarbeit der Besatzung (*crew*)

cooperation) mangelhaft war, was dazu führte, dass der Ausfall eines einzelnen Systems nur mit erheblichen Problemen bewältigt werden konnte.

2.2.2 Qualifikationswesen und Training

Die Unterlagen zu Auswahl und Training des Kommandanten, der damals als Copilot tätig war, lassen keine eindeutigen Schlüsse zu. Insbesondere sind die Beurteilungen der Linienpiloten, welche den angehenden Kommandanten im täglichen Betrieb beschrieben, wenig aussagekräftig, weil sie sich in der Beurteilung teilweise widersprechen. Sie stammen aus den Jahren 1997/98 und berücksichtigen darum die persönliche und fachliche Entwicklung des Kommandanten nicht, die aus späteren Unterlagen ersichtlich wird.

Die Eignungsunterlagen des Copiloten aus der Zeit von 1999, also zehn Jahre vor seiner Anstellung durch das Flugbetriebsunternehmen, zeigen eine gewisse Schwäche in der Datenverarbeitung und in der entsprechenden Interpretation. Hingegen zeigen die Eignungsunterlagen aus dem Jahre 2009 ein durchschnittlich- bis überdurchschnittliches Resultat ohne Risikofaktoren.

Gemäss den vorliegenden Qualifikationsblättern der letzten Jahre und den Aussagen von Vorgesetzten handelte es sich bei der Besetzung um gut bis sehr gut qualifizierte Piloten. Bei beiden Piloten sind keine Schwachpunkte in den Qualifikationsblättern aufgeführt. Beiden Piloten wird attestiert, dass sie konsequent nach "PPAA" arbeiten, beim Auftreten von Fehlern klare Analysen vornehmen und auch nach den Regeln des CRM arbeiten. Dies ist insofern bemerkenswert, weil ausgerechnet in diesen beiden Punkten die Besetzung während des schweren Vorfalls Schwächen gezeigt hat.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass der Kommandant etwas mehr als zwei Monate vor dem schweren Vorfall im Simulator anlässlich eines *refresher* einen Anflug nur nach den *standby instruments* durchzuführen hatte und zudem beide Piloten im Jahre 2010 speziell das Fliegen nach *raw data* geübt hatten. Wie der schwere Vorfall zeigt, traten bei der Besetzung in dieser Art der Flugzeugführung aber deutliche Schwächen auf.

Der Unterschied in der geleisteten Arbeit der Besetzung anlässlich von Simulatorübungen und derjenigen, wie sie im schweren Vorfall geleistet wurde, ist beträchtlich. Der Grund für diese Diskrepanz liegt darin, dass Besetzungen bei Simulatorübungen detailliert auf die auftretenden Fehler vorbereitet sind und diese erwartet werden. Der Überraschungseffekt, wie er im schweren Vorfall vorhanden war, fehlt weitgehend. Dies trifft grundsätzlich auf alle Besetzungen zu. Die Frage stellt sich deshalb, wie ein *recurrent training* besser gestaltet werden kann, damit das im Simulator geübte in einer realen Situation zielführend umgesetzt werden kann.

2.2.3 Verhalten der Flugverkehrsleitung

Die Flugverkehrsleitung erkannte frühzeitig, dass der Anflug der LX 5187 nicht wie vorgesehen ablief und ordnete unverzüglich einen erneuten Anflug an, nachdem eine Hilfestellung mittels Kursanweisung keine Wirkung zeigte. Als die Besetzung Navigationsprobleme meldete, wurde der übrige Anflugverkehr einer anderen Frequenz zugeteilt. Als weitere Vorsichtsmassnahme wurde der Anflug- und später auch der Abflugverkehr des Flughafens Zürich zeitweise unterbrochen. Dadurch unterstützte die Flugverkehrsleitung die Besetzung der LX 5187 optimal und trug dazu bei, dass sich die Situation schliesslich wieder entschärfte.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Das Flugzeug war zum Verkehr VFR/IFR zugelassen.
- Sowohl Masse als auch Schwerpunkt des Flugzeuges befanden sich im Zeitpunkt des schweren Vorfalls innerhalb der gemäss AFM zulässigen Grenzen.
- Der letzte A-Check wurde am 14. Mai 2011 bei 32 177 Zyklen durchgeführt.
- Während des Fluges generierte die IRU 1 un stabile Daten und fiel dann komplett aus.
- Die Untersuchung am Nothorizont (*standby horizon*) nach dem schweren Vorfall zeigte, dass dieser einwandfrei funktionierte.

3.1.2 Besatzung

- Die Piloten besaßen die für den Flug notwendigen Ausweise.
- Es liegen keine Anhaltspunkte für gesundheitliche Störungen der Piloten während des Fluges vor.
- Beide Piloten hatten im Jahr 2010 das Fliegen nach *raw data* im Simulator geübt.
- Der Kommandant hatte rund zwei Monate vor dem schweren Vorfall im Simulator einen Anflug mit Hilfe der Notinstrumente (*standby instruments*) durchgeführt.

3.1.3 Flugverlauf

- Der Copilot war als *pilot flying*, der Kommandant als *pilot not flying* eingesetzt.
- Nach dem Start in Nürnberg um 08:53 UTC fielen auf ca. 400 ft über Grund der *autothrottle* (AT) und der *flight director* (FD) aus. Das Flugzeug wurde in dieser Phase von Hand gesteuert.
- Die Besatzung schaltete vom gewählten FGC 2 auf den FGC 1 um.
- AT, FD und auch der *autopilot* (AP) konnten zugeschaltet werden.
- In der Warteschleife RILAX, nach 09:33 UTC, schaltete die Besatzung auf den FGC 2 um. AP, AT und FD funktionierten normal.
- Um 09:49:52 UTC erfasste LX 5187 die Ebene des Landekurs senders (*localizer*) der Piste 14 und folgte diesem.
- Um 09:51:40 UTC begann die *inertial reference unit* 1 (IRU 1) ein erratic signal auszugeben und gleichzeitig fielen AP, AT und FD aus.
- Wenige Sekunden später ertönte die akustische Warnung bezüglich Querlage "*bank angle*" obwohl zu diesem Zeitpunkt die Querlage gering war.
- Die Besatzung schaltete auf den FGC 1 um. Dies hatte keinen Effekt auf den AP, AT und FD.

- Um 09:52:04 UTC erschienen auf den EFIS *displays* des Kommandanten in rot die Warnungen ATT und HDG und die Navigationsdaten verschwanden.
- Die EFIS *displays* des Copiloten blieben stabil vorhanden und erlaubten eine manuelle Führung des Flugzeuges.
- Kurz danach driftete das Flugzeug nach links.
- Der FVL gab der Besatzung die Anweisung: *"I see you left of centerline, turn immediately right and climb to four thousand feet."*
- Der Copilot war durch die Anzeige der Instrumente irritiert, der Kommandant übernahm hierauf die Steuerung des Flugzeuges und behielt den Funkkontakt.
- Um 09:52:24 UTC meldete die Besatzung, dass sie ein Navigationsproblem habe, worauf der Flugverkehrsleiter (FVL) Anweisungen für ein *repositioning* gab.
- Die Aufzeichnungen des *flight data recorder* (FDR) zeigen bezüglich Höhe und Geschwindigkeit einen unstabilen Flug.
- Vierzig Sekunden später meldete die Besatzung, dass sie keine Steuerkursanzeige (*heading*) habe und verlangte eine Führung links/rechts durch den FVL.
- Um 09:55:24 UTC setzte die Besatzung eine Dringlichkeitsmeldung ab.
- Die Flugverkehrsleitung stoppte in der Folge den an- und abfliegenden Verkehr um der Besatzung der LX 5187 volle Unterstützung geben zu können.
- Kurz nachdem die Besatzung den EFIS Wählschalter in die Stellung "BOTH 2" gebracht hatte, meldete sie um 09:58:52 UTC: *"... system back any moment"*. AT und FD wurden wieder zugeschaltet.
- Um 10:01:24 UTC erteilte der FVL der Besatzung die Freigabe zu einem Anflug auf die Piste 14.
- Die Besatzung meldete um 10:03:21 UTC *"fully established"* und zwei Minuten später erfolgte eine ereignislose Landung.

3.1.4 Flugverkehrsleitung

- Der betreffende Flugverkehrsleiter besass alle für seine Tätigkeit notwendigen Ausweise.
- Der Flugverkehrsleiter unterstützte die Besatzung der LX 5187 umsichtig.

3.1.5 Rahmenbedingungen

- Es herrschte mässiger bis starker Westwind und das Flugzeug flog während des schweren Vorfalls in Instrumentenwetterbedingungen.

3.2 Ursachen

Der schwere Vorfall ist darauf zurückzuführen, dass die Besatzung nach dem Ausfall eines einzelnen Systems die verbliebenen Systeme nicht zweckmässig einsetzte und eine sichere Führung des Flugzeuges zeitweise nicht mehr gewährleistete war.

Dabei hat die Untersuchung die folgenden Faktoren ermittelt, welche zum schweren Vorfall geführt haben:

- Die Besatzung hatte eine grundsätzlich unzutreffende Vorstellung des dem Systemausfall zugrunde liegenden technischen Problems.
- Dem Copiloten gelang es nicht, nach dem Ausfall von *autopilot*, *autothrottle* und *flight director* das Flugzeug manuell weiterzuführen.
- Der Kommandant konnte das Flugzeug nur eingeschränkt mit Hilfe der Notinstrumente fliegen.
- Die Zusammenarbeit der Besatzung (*crew resource management* - CRM) war mangelhaft.
- Die Besatzung führte keine ausreichende Situationsanalyse durch.
- Ein im Simulator geübtes Fliegen nach *standby instruments* und nach *raw data* konnte im Ernstfall nur teilweise umgesetzt werden.

4 Sicherheitsempfehlungen und seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

Nach Vorgabe des Anhangs 13 der ICAO richten sich alle Sicherheitsempfehlungen, die in diesem Bericht aufgeführt sind, an die Aufsichtsbehörde des zuständigen Staates, welche darüber zu entscheiden hat, inwiefern diese Empfehlungen umzusetzen sind. Gleichwohl ist jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Flugsicherheit anzustreben.

Die schweizerische Gesetzgebung sieht in der Verordnung über die Untersuchung von Flugunfällen und schweren Vorfällen (VFU) bezüglich der Umsetzung folgende Regelung vor:

„Art. 32 Sicherheitsempfehlungen

¹ Das UVEK richtet, gestützt auf die Sicherheitsempfehlungen in den Berichten der SUST sowie in den ausländischen Berichten, Umsetzungsaufträge oder Empfehlungen an das BAZL.

² Das BAZL informiert das UVEK periodisch über die Umsetzung der erteilten Aufträge oder Empfehlungen.

³ Das UVEK informiert die SUST mindestens zweimal jährlich über den Stand der Umsetzung beim BAZL.“

4.1 Sicherheitsempfehlungen

4.1.1 Verbesserung der Notinstrumente

4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Am 20. Juli 2011 um 08:53 UTC startete das Flugzeug AVRO 146-RJ100, eingetragen als HB-IXP unter der Flugnummer LX 5187 und dem Funkrufzeichen *Swiss five one eight seven* zu einem Positionierungsflug von Nürnberg nach Zürich. Der Copilot war auf diesem Flug als fliegender Pilot, der Kommandant als assistierender Pilot eingesetzt.

Während des Anfluges auf den Flughafen Zürich fiel die *inertial reference unit 1* (IRU 1) aus. In der Folge war der Copilot durch das kurzfristige Auftreten einer akustischen Warnung bezüglich grosser Querlage (*"bank angle"*) irritiert und vertraute den auf seinem elektronischen Fluganzeigergerät (*electronic flight instrument system – EFIS*) angezeigten Werten nicht mehr. Der Kommandant übernahm deshalb die Steuerung des Flugzeuges. Auf seiner Seite waren infolge des IRU-Ausfalls keine Anzeigen mehr vorhanden, so dass er zur Führung des Flugzeuges auf die Notinstrumente angewiesen war. Obwohl er diese Art der Flugzeugführung wenige Monate vorher im Simulator geübt hatte, war er nur eingeschränkt in der Lage das Flugzeug mit diesen Anzeigen zu führen. Fluglage, Flughöhe und Geschwindigkeit variierten während einiger Minuten beträchtlich.

Im vorliegenden Fall gestaltete sich die Flugzeugführung nur mit Hilfe der Notinstrumente als sehr anspruchsvoll, da die Instrumente aufgrund ihrer Bauweise und ihrer Anordnung auf dem Instrumentenbrett nur mit einer gewissen Parallaxe abgelesen werden können. Auch die Grösse und die Skalierung der Instrumente erschweren das Ablesen von Fluglage und Geschwindigkeit. Es ist deshalb denkbar, dass ein Teil der in diesem schweren Vorfall aufgetretenen Fluktuationen von Fluglage, Höhe und Geschwindigkeit darauf zurückzuführen sind, dass das Ablesen der Anzeigewerte (*scanning*) für den Kommandanten schwieriger geworden war. Dies zeigte sich unter anderem daran, dass der Kommandant

während mehrerer Minuten nicht bemerkte, dass er eine korrekte Kursanzeige zur Verfügung hatte.

Modernere Notinstrumente bieten aufgrund ihrer Auslegung die Möglichkeit die Fluglage zuverlässiger abzulesen und erleichtern aufgrund der Integration von Kursinformationen und Geschwindigkeit das *scanning*.

Das Muster AVRO 146-RJ100 wird zumindest bei Swiss European Air Lines noch mehrere Jahre in Betrieb sein und ein Ausfall von Systemen, welche die Steuerung mit Hilfe der Notinstrumente notwendig machen, wird aufgrund des zunehmenden Alters wahrscheinlicher. Aus diesem Grunde würde eine Nachrüstung des Musters mit verbesserten Notinstrumenten die Führung des Flugzeuges erleichtern und damit die Sicherheit bei Systemausfällen erhöhen.

In gleicher Weise sollte zumindest europaweit eine Verbesserung von Luftfahrzeugmustern mit elektromechanischen Notinstrumenten angestrebt werden.

4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 456

Die zuständige Behörde sollte zusammen mit dem Hersteller des Flugzeugmusters AVRO 146-RJ100 und den betroffenen Flugbetriebsunternehmen eine Nachrüstung mit verbesserten Notinstrumenten prüfen.

4.1.1.3 Sicherheitsempfehlung Nr. 457

Die Europäische Agentur für Flugsicherheit sollte zusammen mit den Betreibern von Luftfahrzeugen, die noch mit elektromechanischen Notinstrumenten ausgerüstet sind, überprüfen, ob deren Auslegung noch den heutigen Erkenntnissen und Anforderungen zur Ergonomie entspricht. Ist dies nicht der Fall, sollte eine Nachrüstung mit verbesserten Notinstrumenten veranlasst werden.

4.1.2 Verbesserung der Ausbildung zum Verhalten in Notsituationen

4.1.2.1 Sicherheitsdefizit

Am 20. Juli 2011 um 08:53 UTC startete das Flugzeug AVRO 146-RJ100, eingetragen als HB-IXP unter der Flugnummer LX 5187 und dem Funkrufzeichen *Swiss five one eight seven* zu einem Positionierungsflug von Nürnberg nach Zürich. Der Copilot war auf diesem Flug als fliegender Pilot, der Kommandant als assistierender Pilot eingesetzt.

Während des Anfluges auf den Flughafen Zürich fiel die *inertial reference unit 1* (IRU 1) aus. Die Besatzung führte in der Folge keine ausreichende Situationsanalyse durch, setzte die verbleibenden Systeme nicht zweckmässig ein und eine sichere Führung des Flugzeuges war zeitweise nicht mehr gewährleistet.

Gemäss den vorliegenden Qualifikationsblättern der letzten Jahre und den Aussagen von Vorgesetzten handelte es sich bei der Besatzung um gut bis sehr gut qualifizierte Piloten. Bei beiden Piloten sind in keinem Qualifikationsblatt Schwachpunkte aufgeführt. Beiden Piloten wird attestiert, dass sie konsequent nach "PPAA" arbeiteten, beim Auftreten von Fehlern klare Analysen vornahmen und auch nach den Regeln des *crew resource management* (CRM) arbeiteten. Dies ist insofern bemerkenswert, weil die Besatzung ausgerechnet in diesen beiden Punkten während des schweren Vorfalls ausgesprochene Schwächen gezeigt hat.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch, dass der Kommandant etwas mehr als zwei Monate vor dem schweren Vorfall im Simulator anlässlich eines *refresher* einen Anflug nur nach den *standby instruments* durchzuführen hatte und zudem beide Piloten im Jahre 2010 speziell das Fliegen nach *raw data*

geübt hatten. Wie der schwere Vorfall zeigt, haben sich bei der Besetzung in dieser Art der Flugzeugführung aber deutliche Schwächen gezeigt.

Der Unterschied in der geleisteten Arbeit der Besatzung anlässlich von Simulatorübungen und derjenigen, wie sie im schweren Vorfall geleistet wurde, ist beträchtlich. Der Grund für diese Diskrepanz liegt darin, dass Besatzungen bei Simulatorübungen detailliert auf die auftretenden Fehler vorbereitet sind und diese erwartet werden. Der Überraschungseffekt, wie er im schweren Vorfall vorhanden war, fehlt weitgehend. Dies trifft grundsätzlich auf alle Besatzungen zu. Die Frage stellt sich deshalb, wie ein *recurrent training* besser gestaltet werden kann, damit das im Simulator geübte in einer realen Situation zielführend umgesetzt werden kann.

4.1.2.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 458

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt sollte zusammen mit den Flugbetriebsunternehmen sicherstellen, dass im Rahmen der periodischen Leistungsüberprüfungen und *refresher* im Simulator möglichst realitätsnahe Trainingsszenarien geübt werden.

4.2 Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

Das Flugbetriebsunternehmen hat vorgesehen, im *refresher* "SIM REFR RJ1H RT 2012" für das Jahr 2012 im Simulator unter anderem auch das Kapitel "Navigation" zu behandeln. Unter den operationellen Schwerpunkten werden unter anderem die beiden Punkte "*crew resource management skills*" und "*RDI approach and G/A*" aufgeführt.

Payerne, 10. Oktober 2012

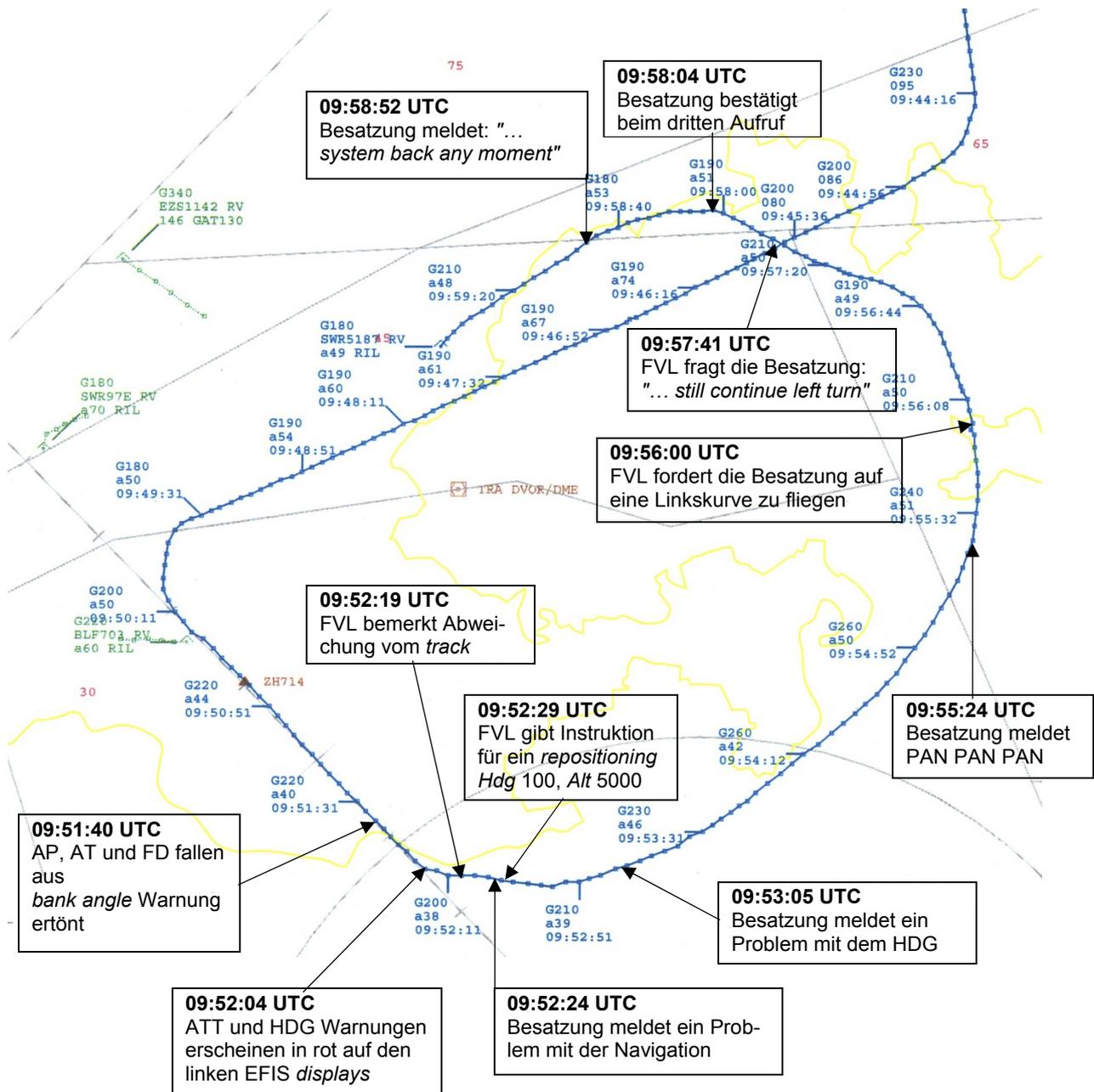
Schweizerische Unfalluntersuchungsstelle

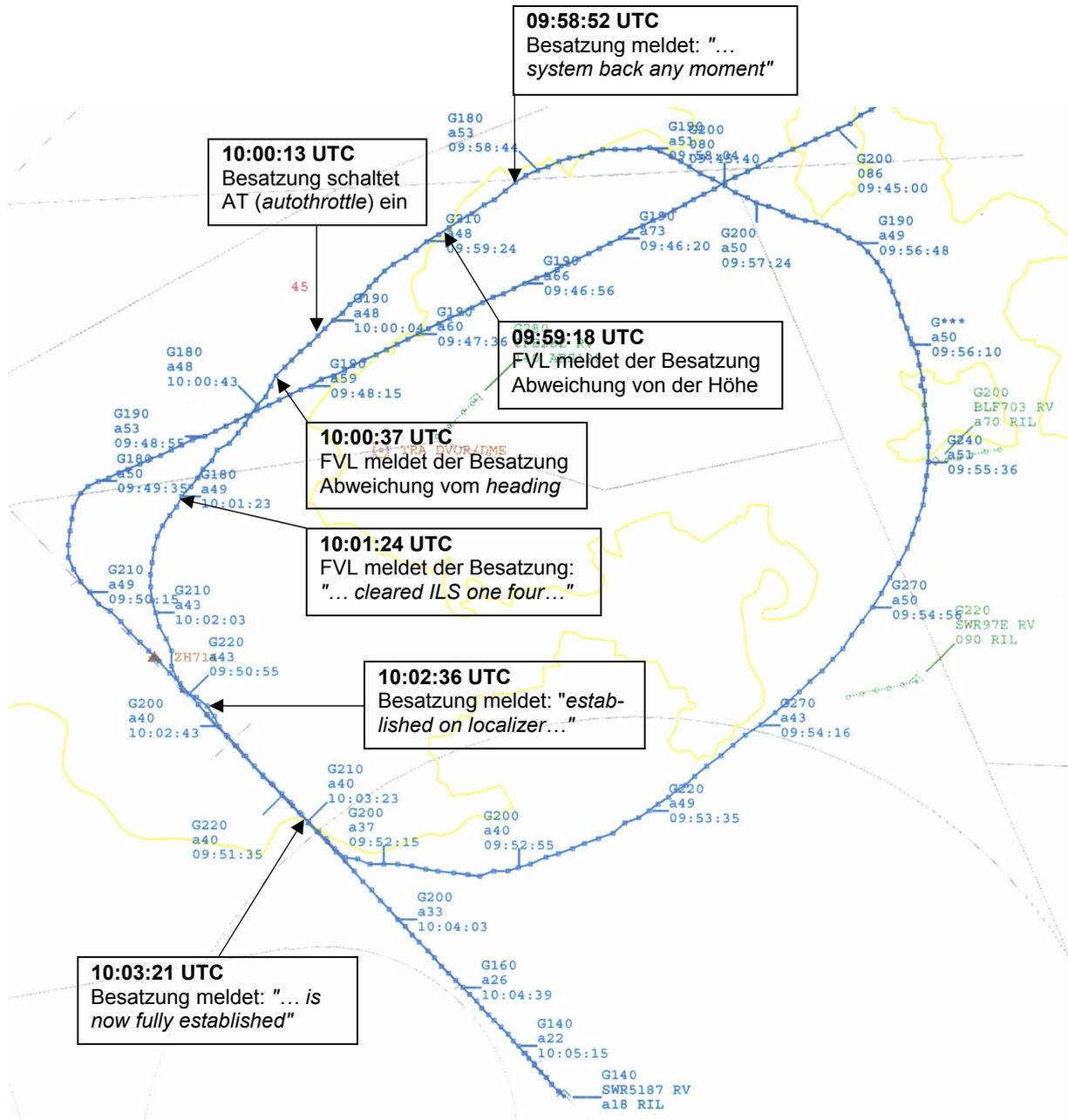
Dieser Schlussbericht wurde von der Geschäftsleitung der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle SUST genehmigt (Art. 3 Abs. 4g der Verordnung über die Organisation der Schweizerischen Unfalluntersuchungsstelle vom 23. März 2011).

Bern, 20. November 2012

Anlagen

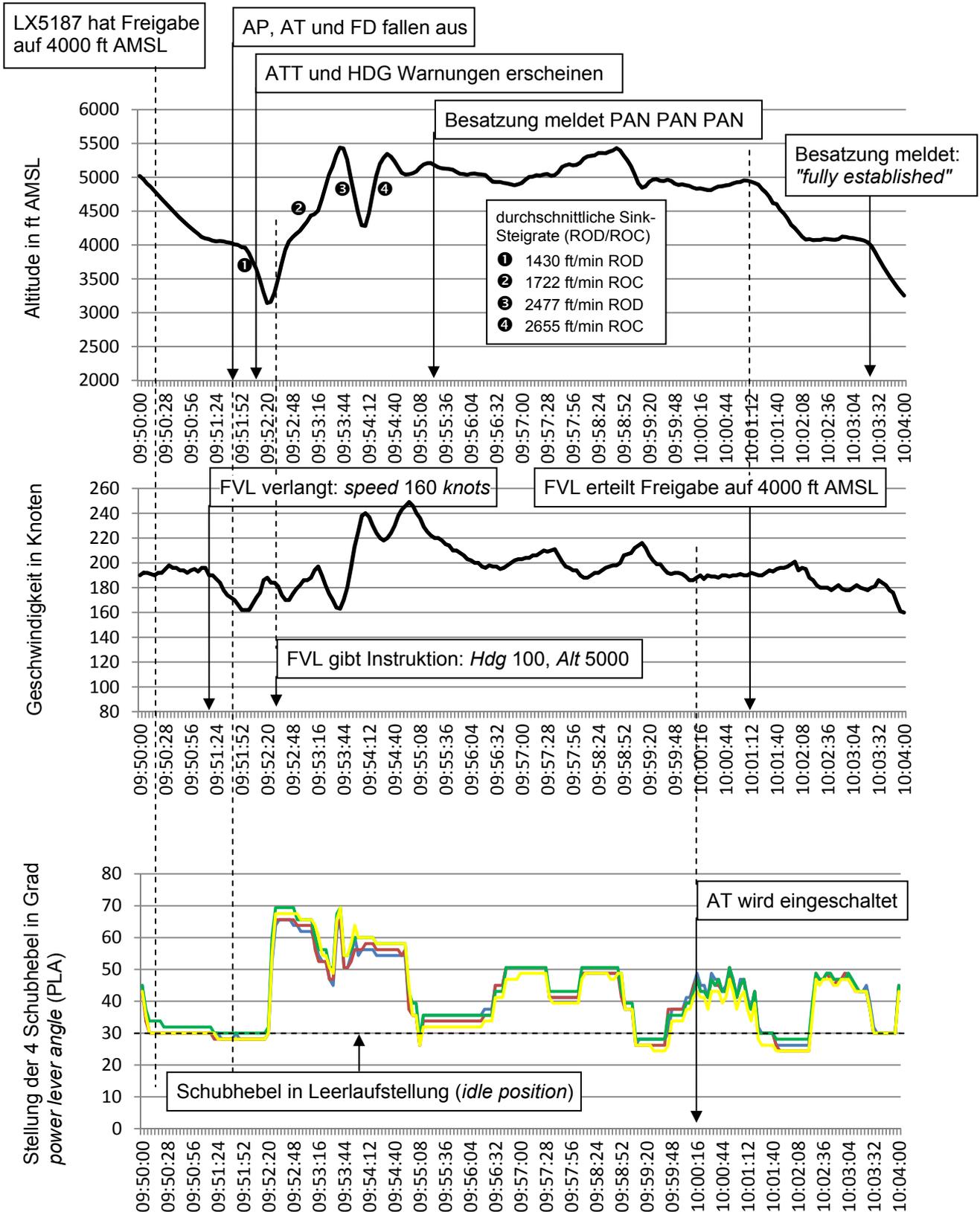
Anlage 1: Flugverlauf im Anflug





Anlage 2: Höhe, Geschwindigkeit und Schubhebelstellung

Der FDR (*flight data recorder*) zeichnet nur die Fluglagerreferenzdaten der IRU 1 auf. Da diese Parameter ab 09:52:04 UTC nicht mehr verfügbar waren, wurde auf die Darstellung von *pitch* und *bank angle* verzichtet.



Anlage 3: Instrumentenpanel des Kommandanten



Umschalter für EFIS *displays*.
In Stellung "BOTH 2" werden z. Bsp. die Daten der
PFD2 / ND2 auf die PFD1 / ND1 kopiert.

Anlage 4: Technische Information an die AVRO RJ Besatzungen

EORT Info



Technical Pilot AVRO RJ

December 22, 2009

Flight Guidance System Malpractice

Background

Lately we have experienced several irregularities with the DFGS System where, amongst others, the following flight deck effects were observed: A/P disconnect, F/D out of view, TRP off, and sometimes the ELEC TRIM and FTC annunciator illuminating.

Our investigations resulted in our assumption that the reason is (partly confirmed) in the Total Air Temperature (TAT) probes or generally caused by the Air Data System.

Description

Two Flight Guidance Computer are installed which perform mainly autopilot, flight guidance functions and provide commands to control the engines using several aircraft sensors.

In certain cases and circumstances a malfunction, like a TAT probe failure or temperature miscompare, will lead to a disconnection of the Flight Guidance System.

In some cases, e.g. for transient faults, a successful re-engagement of the system was observed.

Recommendation

Apart from handling the case according to the existing procedures acc. OM-B and the ACL / ECL, further attempts to re-engage the system could be made periodically.

Outlook

Our Engineering and Technical Department works in close collaboration with the manufacturer to investigate and solve this issue.

In case of any questions do not hesitate to contact me.

Best Regards

██████████

Technical Pilot AVRO RJ

© 2009 Swiss European Air Lines Ltd.

Anlage 5: Prüfliste beim Ausfall eines IRS

Loss of IRS



If the AP is engaged, it will disengage and cannot be re-engaged.

The YD fails and cannot be recovered. The amber YD flight annunciator will illuminate. Observe the YD failed limitations - refer to **Limitations with Yaw Damper Inoperative** on Page 14.11.

Windshear detection and recovery guidance unavailable. WINDSHR INOP caption illuminates.

Category 2 approaches are not allowed.

Autoland not available; NO CAT 3 LAND advisory annunciator illuminates.

