

Superjet nach dem Unfall. Über die beiden vorderen Ausgänge war die Evakuierung erfolgt. Der Ausgang wurde erst später wieder geschlossen. Foto: Interstate Aviation Committee MAK, Zwischenbericht

Superjet – Anatomie eines Flugunfalls

er 5. Mai 2019 war ein schwarzer Tag für die russische Luftfahrt. Auf dem Flughafen Moskau-Sheremetyevo verunglückte ein moderner Sukhoi Superiet 100 der Aeroflot, 40 Passagiere und ein Crewmitglied kamen bei dem Unfall ums Leben. Das Flugzeug hatte nach einer extrem harten Landung Feuer gefangen. Was als ganz normaler Arbeitstag begonnen hatte, endete 28 Minuten nach der Startfreigabe in einer Katastrophe. Mit beispielhaftem Tempo hat sich die russische Untersuchungskommission an die Arbeit gemacht. Bereits am 14. Juni 2019 wurde ein 100-seitiger Zwischenbericht veröffentlicht, in dem alle bis dahin bekannten Fakten, Flugschreiberauswertungen und Voice-Recorder-Aufzeichnungen zusammengefasst sind. Der Bericht ermöglicht schon jetzt, für Piloten wichtige Abläufe zu erkennen, die bei Flugunfällen leider öfter eine Rolle spielten...

Ein Flug von nur 28 Minuten Dauer

Der Aeroflot Flug SU 1492 sollte von Sheremetyevo nach Murmansk führen. Die Crew (Kapitän, Copilot und drei Flugbegleiter) begann ihren Dienst etwa zwei Stunden vor Abflug. Auf dem Cockpit Voice Recorder (CVR) war das Briefing im Cockpit zu hören: Die Crew stellte fest, dass es keine offenen MEL¹-Items und keine relevanten NOTAMs gebe. Es gebe keine speziellen Wetterphä-

1) MEL - Minimum Equipment List

nomene. Der Engine-Out Flugweg wurde besprochen, außerdem wurde erwähnt: "Im Falle einer sofortigen Umkehr... TALUK, Mayday."

Nach Erhalt der IFR-Freigabe folgte die Besprechung der SID. Während dieses Teils des Briefings sprach der Kapitän erstmals Blitze an:

"All the same, to the right, there is such flashing behind. It will be even faster for us."

Wahrscheinlich war gemeint, dass das Wetter schnell hereinzog.

Die 73 Passagiere stiegen durch die vordere linke Türe ein. Um 1440 UTC waren alle Türen geschlossen (planmäßige Abflugzeit 1450 UTC). Es folgten die routinemäßigen Abläufe im Cockpit: Checklisten, Ladeplan, Startup Clearance, Engine Start und Rollfreigabe. Das Startgewicht war nach dem Loadsheet

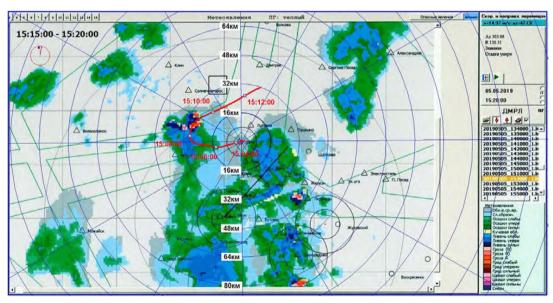
43.545 kg, der Treibstoffvorrat 7.330 kg. Damit lag das Startgewicht etwa 1,6 Tonnen über dem Maximum Landing Weight.

Um 14:57:20 UTC rollte das Flugzeug nach Erhalt der Freigabe auf die Startbahn 24C, wo es etwa fünf Minuten auf die Startfreigabe warten musste. Beim Line-up beobachte die Crew das Wetterradar und sah auch weitere Blitze. Um 14:58:27 UTC bemerkte der Kapitän:

"The flash, do you see it (illeg.). Yes, holy crap."

Vier Minuten später, um 15:02:23 UTC, erteilte der Controller die Startfreigabe, 26 Sekunden danach begann der Kapitän den Start mit der Aktivierung des TO/GA-Switches.

Während der Wartezeit auf der Runway war eine Gewitterzelle mit 40 bis 45 km/h rasch von Südwest nach Nordost Richtung Abflugroute gezogen. Sowohl die vorausfliegende Crew als auch die dem Superjet folgende



Vnukovo Bodenwetterradar-Bild für die Zeit von 15:15 bis 1520 UTC mit dem Flugweg des Superjets

Foto MAK, Zwischenbericht

Crew hatte jeweils eine "active thunderstorm area avoidance clearance" erbeten, mit anderen Worten eine Kursänderung um das Wetter herum. Die Superjet Crew hat nie nach einer solchen Freigabe gefragt.

Nach dem Start fuhr die Crew wie gewohnt das Fahrwerk ein. In 1.250 ft schaltete der Kapitän den Autopiloten ein, die aktiven Modes waren "TO" sowie "Lateral Navigation/LNAV". Der Autopilot folgte der FMS-Abflugroute.

Anschließend wechselte der Autopilot in den CLB Mode und die Klappen wurden eingefahren

In 6.000 ft mit 250 Knoten kam die Freigabe auf FL 070, der Steigflug wurden im Mode "Vertical Speed" begonnen. Wenige Sekunden später, um 15:07:10 UTC, wechselte der laterale Mode von LNAV nach "HeadingHDG", die Crew drehte vorzeitig – ohne eine Freigabe einzuholen – leicht nach rechts von der SID weg. 20 Sekunden später hört man auf den Cockpit Voice Recorder:

PIC: "We are going to get shaken."

FO: "Damn it."

PIC: "Nothing to worry about."

Es folgte die Freigabe für einen Steigflug auf FL 100. Der Autopilot Mode wechselte wieder in "CLB". Beim Zurücklesen der Freigabe durch den Copiloten zeichnete der Flight Data Recorder den Wechsel der Zündung beider Triebwerke auf "Continuous Ignition"



Rechter Temperatursensor mit Spuren des Blitzschlags. Ähnliche Spuren wurden am vorderen Rumpf und am rechten Ice Detector gefunden. Der Zerstörungsgrad des Flugzeugs ließ eine weitere Begutachtung nicht zu.

Foto: MAK

auf. Drei Sekunden danach hört man auf dem Cockpit Voice Recorder für 1,5 Sekunden die Geräusche eines Blitzschlags. Es ist 15:08:09 UTC, fünf Minuten nach dem Start.

Zwei Sekunden nach dem Blitzschlag werden mehrere Fehlermeldungen und Audio-Warnungen aufgezeichnet:

Der Autopilot fällt aus mit den entsprechenden visuellen und akustischen Warnungen. Gleichzeitig wechselt das Flight Control System in den "Direct Mode" (entspricht dem Direct Law bei Airbus) verbunden mit dem Audio Callout "DIRECT MODE. DIRECT MODE".

Den Callout hört man auf dem CVR, zusammen mit dem Ausruf eines Piloten: "Wow!" Es wurden weitere Fehler aufgezeichnet. EIU1 FAULT (EIU – Electronic Interface Unit) und gleichzeitig EIU2 FAULT. Die Untersuchungskommission geht davon aus, dass ein Reboot der "data concentrator units" erfolgt war, der zum Wechsel in den Direct

Mode führte. Anders als bei Airbus kann die Steuerung des Superjets im Flug nicht mehr vom Direct Mode zurück in den normalen Modus wechseln, auch wenn die ursprünglichen Fehler, z.B. nach einem Reboot, wieder weg sein sollten.

Es dauerte vier Sekunden, bis nach dem Ausfall die ersten Sidestick-Bewegungen des Kapitäns aufgezeichnet wurden. Diese zeigten sich ungewöhnlich ruppig und unruhig. So waren gleich die ersten Ausschläge im Querruder und Höhenruder nahezu 50% des Maximalausschlags. Die Querlage war nach dem Ausfall auf 12° zurückgegangen. Der Kapitän machte in 18 Sekunden mehr als zehn Sidestick-Ausschläge - mit bis zu 60% des Vollausschlags -, allein um die Querlage wieder auf 20° zu bringen. Obwohl der Autopilot bereits ausgeschaltet war und der Copilot den Sidestick nicht bewegte, drückte der Kapitän sechs Mal den PRIO-RITY/AP OFF Knopf am Sidestick.

Nach kurzer Diskussion mit dem Copiloten entschied der Kapitän, nach Sheremetyevo zurückzufliegen, und wies den Copiloten an, PAN PAN zu melden. Der bekam aber auf VHF 1 keinen Kontakt mehr. Nach kurzer Diskussion wurde der Transponder auf 7600 gesetzt, den Code für "Communication Failure". Gleich danach – um 15:09:35 UTC – gelang es dem Copiloten, auf der Notfrequenz 121,5 MHz über VHF 2 den Kontakt zum Fluglotsen mit diesem Funkspruch wieder herzustellen:

"Moscow-Approach, request return of 14-92, radio lost, aircraft in direct mode."

Der in den Medien hochgepuschte "totale Funkausfall" dauerte also in Wirklichkeit weniger als 90 Sekunden.

Den Behörden in Moskau wurde nach dem Unfall vorgeworfen, die Feuerwehr habe bei der "Notlandung" nicht bereitgestanden. Dazu wurden im Zwischenbericht einige Fakten genannt: Zu keinem Zeitpunkt hat die Crew Luftnotlage ("Mayday") erklärt, wie vor dem Abflug im Briefing besprochen. Und als er dem Purser erklärte, dass man zurückkehren werde, bekräftigte der Kapitän, dass es sich nicht um eine Notlage handele: "No emergency, we are simply going back." Zwischen den Sinkflugfreigaben und Radar Vectors fragte der Radar-Controller: "Benötigen Sie Unterstützung?" Die Frage wurde mit dieser knappen Meldung beantwortet: "Nein, bis jetzt ist alles normal, Standard." Dem Lotsen genügte diese Erklärung nicht und er fragte erneut. Daraufhin meldete der FO. dass es Probleme mit dem Funk gebe und dass das automatische Flight Control System ausgefallen sei.

Nach der Wiederherstellung des Funkkontakts erhielt die Crew wie gewünscht umgehend Sinkflugfreigaben und Radar Vectors zum Endanflug. Zwischen den Funksprüchen versuchte der Kapitän, die erforderlichen Checklisten lesen zu lassen. Um 15:13:11 UTC fragte er nach der QRH-Liste² F/CTL DIRECT MODE. Der FO begann stattdessen zweimal mit der QRH-Liste AUTO FLT AP OFF, wurde aber immer wieder mit Funksprüchen unterbrochen, bis ihn der Kapitän korrigieren konnte. Um 15:15:34 UTC erhielt die Crew die Freigabe für das ILS Yankee Runway 24 Left; unmittelbar nach dem Zurücklesen der Freigabe liest der FO die **QRH-Liste F/CTL DIRECT MODE:**

²⁾ QRH - Quick Reference Handbuch

.... Auto throttle should not be used, fly smoothly. ...

Balance manually. ... Speed brake no less than a half. ... use Flaps 3. TAWS, landing gear, Flaps 3 on. V approach, V reference plus 10. Landing distance – increase by 1-34. ... Speed brake set to full after touchdown. Go-around lever to NTO."

Das Englisch in dem Bericht klingt oft sehr russisch, daher hier der erklärende Hinweis zu einem der wichtigsten Punkte der Checkliste: Mit "Balance manually" ist gemeint, dass die Trimmung (wie bei Airbus im Direct Law) nur von Hand funktioniert.

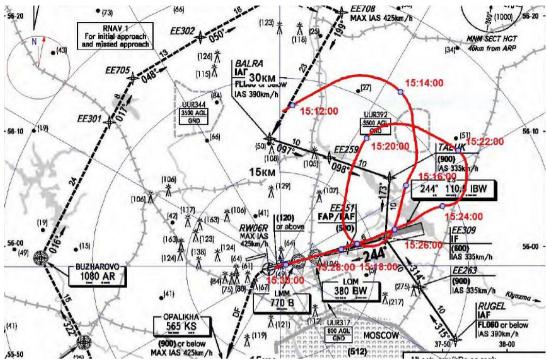
Den Aufzeichnungen der Funksprüche und den Checklisten im Zwischenbericht des MAK ist der Zeitdruck überdeutlich anzumerken, dem sich die Crew durch die sofortige Rückkehr nach Sheremetyevo ausgesetzt hat. Zu dem Zeitpunkt, als der Copilot die Anflugfreigabe zurückliest, hat das Lesen der Abnormal-Checklisten noch gar nicht begonnen. Ebenso wenig ein Approach-Briefing. Nach weniger als 90 Sekunden ist die Crew mit der QRH-Liste F/CTL DIRECT MODE durch; der Kapitän fordert den Copiloten auf, zu melden, dass die Crew noch nicht fertig ist. Der FO verlangt über Funk einen "Orbit", korrigiert sich aber sofort und fragt nach "the circuit". Der Lotse gibt daraufhin Radar Vectors für einen Vollkreis.

Der Kapitän hatte offenbar erkannt, dass ein Vollkreis nicht ausreichen würde, und versucht selbst, den Radarlotsen zu rufen. Er verlangt eine Warteschleife: Um 15:18:53 UTC hört man ihn auf dem CVR:



Die mit Verbrennungsrückständen bedeckte Mittelkonsole des Unfallflugzeugs mit den Stabilizer Trim Switches. Links eine Sitzschiene des Kapitäns-Sitzes. Die Nummern im Foto wurden von der Untersuchungskommission als Referenz hinzugefügt.

Foto: MAK, rote Markierung: Autor



Radar Vectors und Flugweg des Superjets nach Wiederherstellung des Funkkontakts (15:12 UTC) bis zum Aufsetzen (15:30 UTC)

Darstellung: MAK

"Aeroflot 14-92, holding area above Kilo November, if possible."

Unglücklicherweise hört man diese Meldung aber nur im Cockpit, nicht aber auf dem Band der Flugsicherung. Der Kapitän bringt die Frage nach dem Holding nicht noch mal auf.

Der Kapitän hat Schwierigkeiten, den Vollkreis von Hand zu steuern. Die Querlage entgleist ihm einmal auf bis zu 40°, und die Höhe schwankt mehrmals um 200 Fuß nach oben und unten, wobei jeweils Audio-Alarme ausgelöst werden. Der Kapitän ist sich der Abweichungen bewusst, einmal hört man ihn auf dem CVR:

"How come... plus-minus 200 feet."

Während des Vollkreises liest der Copilot die QRH-Liste OVER MAXIMUM LANDING WEIGHT LANDING und startet die APU. Nachdem die Klappen auf 1 gefahren wurden, wies der Kapitän den FO an, zu melden, dass man nun fertig zur Landung sei. Fahrwerk und Klappen wurden ausgefahren. Dabei wurde auch die Speedbrake armiert – obwohl diese im Direkt Mode nicht automatisch funktioniert.

Kurz vor Erreichen des Glideslope fragt der Copilot, ob er den Transponder auf 7700 (Emergency Code) setzten solle. Der Kapitän bemerkt dazu nur: "We could have done it long before, actually." Eine explizite Entscheidung des Kapitäns dazu ist auf dem Voice Recorder nicht aufgezeichnet, jeden-

falls wechselt um 15:26:31 UTC das Transpondersignal auf 7700.

Während des Anflugs zum Glideslope zeigt sich ein Problem, das den Endanflug, aber auch die Landung selbst negativ beeinflussen sollte: Die Maschine ist nicht ausgetrimmt. Während der Reduzierung der Geschwindigkeit und des Klappenfahrens trimmt der Kapitän das Flugzeug - wie im Direkt Mode erforderlich – manuell mit den Trim Switches auf der Mittelkonsole. Aber nicht vollständig. Es verbleibt ein leichtes Nose-Down-Moment, das der Kapitän durch ständiges Gezogen-Halten des Sidesticks ausgleicht. Das ist ein grundsätzliches Problem bei Fly-by-Wire-Flugzeugen mit Sidestick: Die Steuerkräfte sind so gering, dass dem Piloten im Direkt Mode/Direkt Law unter Umständen - und vor allem unter Stress nicht bewusst ist, dass das Flugzeug nicht ausgetrimmt ist.

Obwohl nun jedes Mal, wenn der Kapitän den Sidestick Richtung Nulllage nachlässt, die Nase des Flugzeugs runtergeht, trimmt er im ganzen Endanflug nur ein einziges Mal ganz kurz nach, ansonsten bis zum Aufsetzen überhaupt nicht mehr.

Deswegen gelingt es ihm nicht, stabilisiert dem Glideslope zu folgen, er bleibt nahezu immer "one dot low", ohne dass das vom Copiloten beanstandet wird.

Wir müssen uns vor Augen halten, dass die Entscheidung zur sofortigen Rückkehr getroffen wurde, obwohl der Kapitän wusste, dass Gewittertätigkeit in Platznähe vorhanden war. Da wundert es nicht, dass es in 1.100 Fuß Radarhöhe zu einer automatischen Windshear-Warnung im Cockpit kam: Elf Sekunden lang kam insgesamt fünfmal die

Audio-Warnung "GO AROUND, WINDS-HEAR AHEAD!" Keiner der Piloten reagierte darauf. Obwohl die Verfahren bei Aeroflot – wie bei allen Airlines – für diesen Callout einen sofortigen Go-around vorsehen, wurden die Warnungen wortlos ignoriert. Ein mögliches Indiz, dass die Crew bereits "behind the aircraft" war. Die Final Checkliste war zwar gelesen worden, ein Anflug-Briefing, in dem man das Wetter hätte ansprechen können, war aber nicht gemacht worden. Auch die Approach-Checkliste war nicht gelesen worden.

Durch den nicht stabilisierten Anflug kam es nach Passieren der Entscheidungshöhe zu einem schnellen Verlassen des Glideslope nach unten (bis zu 1.4 dots), verbunden mit dem vier Sekunden andauernden TAWS³ Alert "GLIDE SLOPE, GLIDE SLOPE". Der Kapitän bestätigte die Warnung mit dem Call-out "Advisory", setzte aber den Anflug fort. Er schob die Schubhebel nach vorne, dadurch erhöhte sich die Speed, in 16 Fuß Höhe war sie 170 Knoten (Target Speed war 155 Knoten)⁴.

Die Landung

Um 15:29:54 UTC zog der Kapitän in 17 Fuß – zeitgleich mit dem Auto Callout "RETARD, RETARD" – die Schubhebel zurück auf Leerlauf. Er initiierte den Flare mit einem Zurückziehen des Sidestick auf 65% des Vollausschlags. Von nun an – während der kompletten Landesequenz – werden immer größere und immer schnellere Sidestickausschläge des Kapitäns aufgezeich-

³⁾ TAWS - Terrain Awareness and Warning System

⁴⁾ Bei Aeroflot gilt Target Speed plus 20 Knoten noch als "stabilized", bei anderen Airlines muss bereits bei Target Speed plus 10 Knoten ein Callout "Speed" erfolgen.

net. Und zwar bis in die Endausschläge Nose-up und Nose-down, mit deutlichem Verharren in den Endlagen. Entsprechend den Steuerinputs gibt es gravierende Pitch-Änderungen zwischen plus 6° und minus 2°. Das erste Aufsetzen erfolat um 15:30:00 UTC in nahezu ebener Fluglage ("Dreipunktlandung") mit 7°/s Pitch-Up Rotation-Rate⁵ und voll durchgezogenem Sidestick. Der Superjet knallt mit mehr als 2,55g auf die Landebahn. (Das Superjet-Manual spricht bei einer Landung jenseits von 2,25g von einer "sehr harten Landung".) Nach dem Aufsetzen wechselt der Sidestick-Ausschlag innerhalb von 0.4 Sekunden auf "voll nach vorne" und verharrt dort. Die Speedbrakes funktionieren im Direkt Mode nicht automatisch und hätten nach der QRH-Liste F/CTL DIRECT MODE, die der Copilot vorgelesen hatte, manuell betätigt werden müssen: "Speed brake set to full after touchdown." Ohne Speedbrake springt das Flugzeug wieder in die Luft, zu einem "Bounce", es erreicht eine Höhe von etwa 5 bis 6 Fuß.

An dieser Stelle zitiert die Untersuchungskommission das Superjet Manual zum Thema "Aircraft bouncing off the RWY during landing".

 Bei flachem Springen bis 5 Fuß soll der Sidestick in der Position gehalten werden, in dem er beim Aufsetzten war, dann soll man verhindern, dass sich die Fluglage ändert, und mit Schubhebeln im Leerlauf das Flugzeug landen lassen. Gerade nach harter Landung soll die Nase nicht höher gezogen werden. Bei Sprüngen höher als 5 Fuß soll ebenso gesteuert werden wie bei flachen Sprüngen, jedoch soll ohne Fluglageänderung ein Go-around eingeleitet werden.

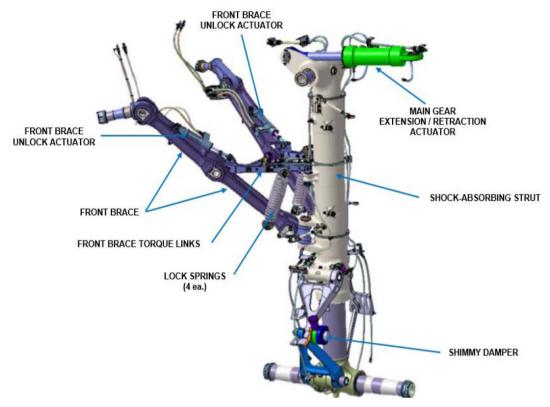
Entgegen diesen Verfahren wurde in Moskau kein Go-around eingeleitet und auch der Sidestick nicht in der Aufsetzposition gehalten. Dadurch, dass der Sidestick voll nach vorne gedrückt ist, rotiert das Flugzeug ebenfalls nach unten, mit mehr als 10% auf minus 4° Pitch. Unmittelbar vor dem zweiten Aufsetzen (2,2 Sekunden nach dem ersten) zieht der Kapitän den Sidestick ganz nach hinten durch. Das Flugzeug rotiert entsprechend, erreicht eine Nose-up-Rotationsrate von 25°/s und schlägt mit mindestens ("no less than") 5,85g auf die Landebahn. Die Untersuchungskommission geht davon aus, dass die Safety Shear Pins⁶ im Hauptfahrwerk zu diesem Zeitpunkt gebrochen sind.

Unmittelbar nach dem ersten Bounce hatte der Kapitän beide Triebwerke auf Full Reverse gezogen. Offenbar hatte er nicht mit dem Wegspringen gerechnet (Normal Procedure: Immediately after main gear touchdown: select reverse). Die Triebwerke gingen aber nicht in Umkehrschub, weil das "Weight on Wheel"-Signal⁷ fehlte. Erst mit dem zweiten Aufschlag fuhr der Umkehrschubmechanismus beider Triebwerke Richtung "open". Durch die hohe Rotationsrate beim zweiten Aufschlag erreichte das Flugzeug einen hohen Anstellwinkel und sprang wegen der

⁵⁾ Die normale Rotationsrate z.B. beim Start eines Verkehrsflugzeugs beträgt 2° bis 3°/s.

⁶⁾ Dieses Sicherheitsmerkmal soll verhindern, dass gewaltsam zerstörte Hauptfahrwerksbeine die Tragflächentanks aufreißen. Brechen die Pins, soll das Fahrwerk einknicken, ohne die Integrität der Tanks zu beeinträchtigen.

⁷⁾ Sicherheitseinrichtung, die die Betätigung des Umkehrschubs in der Luft verhindert.



Struktur des Superjet-Hauptfahrwerks. Die Sicherheitsfeatures sind für eine einmalige Überlastung entworfen worden. Ein zweimaliges Aufschlagen des Fahrwerks wie in diesem Fall ist bei keinem Flugzeugdesign berücksichtigt.

Abbildung: Technische Universität Moskau Teaching guide for second year students

immer noch hohen Geschwindigkeit erneut, obwohl der Kapitän beim Aufschlag sofort den Sidestick in die "Full Nose Down"-Position drückte. Die Maschine erreichte diesmal eine Höhe von etwa 15 bis 18 Fuß. Etwa zwei Sekunden nach diesem zweiten Bounce wurden beide Schubhebel auf "Takeoff" vorgeschoben, sowie der Sidestick voll gezogen. Die Untersuchungskommission interpretiert dies als Versuch, einen Go-Around einzuleiten. Da die Reverser jedoch nicht vollständig geschlossen, sondern noch "in transit" waren, fuhren die Triebwerke nicht hoch und verblieben in Leerlauf...

Um 15:30:05 UTC, fünf Sekunden nach dem ersten Aufsetzen, schlug die Maschine zum dritten und letzten Mal mit 140 Knoten auf, diesmal mit mindestens 5g. Die Aufschlagspuren zeigten, dass zu diesem Zeitpunkt die Hauptfahrwerke bereits weitgehend zerstört gewesen sein mussten. Durch den Aufschlag kam es zu erheblichen Strukturschäden, einer Treibstoffleckage und einem intensiven Feuer. Das Flugzeug rutschte mit immer noch intaktem Bugfahrwerk auf Triebwerken und dem hinteren Rumpf brennend über die Landebahn.

Die letzten Sekunden bis zur Evakuierung sind ausführlich im Zwischenbericht dokumentiert:

15:30:05 letztes Aufsetzen mit 140 Knoten und mindestens 5g, FDR⁸ zeichnet den wahrscheinlichen Verlust der Kontrolle über die Triebwerke auf...

15:30:15 Ground Speed 107 Knoten, mehrfaches Betätigen des Umkehrschubs auf "Full Reverse", Triebwerke verbleiben in Leerlauf.

15:30:18 Ground Speed 100 Knoten, FDR zeichnet "Aft cargo compartment fire" auf...

15:30:24 CVR zeichnet die Stimme des Fluglotsen auf: "Emergency service to the runway"...

15:30:30 und 15:30:34 Flugbegleiter melden Feuer.

15:30:34 Ground Speed 25 Knoten. APU Fire Warnung

15:30:38 Flugzeug stoppt neben der Bahn, auf dem CVR zwei Callouts der Cockpitcrew: "Attention Crew! On Station." "Attention Crew! On Station."

15:30:44 PIC Callout: "Emergency evacuation checklist" CVR zeichnet die Abarbeitung der Liste nicht auf [evtl. weil ein Mitglied der Crew zu den Schwerverletzten zählt].

15:30:49 Aufzeichnung der Kommandos der Flugbegleiter: "Undo the seatbelts, leave everything, evacuate..."

15:30:52 PIC Callout: "Evacuation"

15:30:53,3 Cockpit Voice Recorder stoppt.

Bei dem Unfall konnten nur 33 Passagiere, die beiden Piloten sowie zwei Flugbegleiter das Flugzeug evakuieren. 40 Passagiere und ein Flugbegleiter kamen ums Leben. Von den Überlebenden wurden drei schwer verletzt, darunter ein Crewmitglied.

Das Flugzeug

Der Sukhoi Superjet 100 ist eine komplette Neuentwicklung, ein modernes zweistrahliges Regionalflugzeug, mit dem Russland auch in den internationalen Markt vordringen wollte. Der Hersteller Sukhoi, vorher nur für seine Militär- und Kunstflugmaschinen bekannt, begann mit ersten Studien in den 1990er-Jahren. Im Jahr 2000 wurde die Sukhoi Civil Aircraft Company (SCAC) gegründet und die Entwicklung begonnen, deren Kosten nach Angaben von Sukhoi (2007) mit 1,4 Mrd. US-Dollar veranschlagt war.

In den Jahren nach 2000 wurden internationale Partner gesucht, in 2005 wurden die ersten Teile gefertigt, 2007 fand der Rollout des ersten Prototypen statt. Der Erstflug war am 19. Mai 2008.

Der Rumpf wurde in Russland gebaut, die Triebwerke ebenfalls. Verwendet werden Triebwerke des Typs PowerJet SaM146. PowerJet ist ein Joint Venture von NPO

⁸⁾ FDR - Flight Data Recorder ("Flugschreiber")

Saturn mit dem französischen Hersteller Safran Aircraft Engines (vormals Snecma). Mit dem Ziel, das Flugzeug auch im Westen zuzulassen, und auch um das Rad nicht nochmal neu erfinden zu müssen, wurden beim Bau (je nach Quelle) zwischen 70% und 80% modifizierte Systeme aus dem Westen verwendet, die auch in Airbus- und Boeing-Flugzeugen eingebaut sind. Jeder Airbus-Pilot

würde sich im Cockpit mit seinen beiden Sidesticks sofort zurechtfinden. So stammt das komplette Flightcontrol-System von Liebherr Aerospace, von den Sidesticks über die Flightcontrol-Computer, die Actuators bis zum Seitenruder. Auch die Control Laws wurden von Liebherr entwickelt. Das Flugzeug ist komplett "Fly-by-Wire" und hat keinerlei mechanisches Backup. Komponenten von Liebherr finden sich unter anderem auch im A380. Die Avionik kommt ebenfalls aus dem Westen, sie stammt von der französischen Thales Group (ehemals Thomson-CSF). Das Fahrwerk wurde maßgeblich von Messier-Dowty entwickelt.

Wirtschaftlich hat der Superjet die Erwartungen nicht erfüllt, die an ihn gestellt worden waren. Sukhoi hatte 2007 mit einer Produktion von mindestens 700 Maschinen gerechnet, von denen 60% in den Westen verkauft werden sollten. Die aktuellen Verkaufszahlen dagegen sind gering. Im Westen fliegt kaum noch ein Superjet. Grund sind die hohen Betriebskosten, die technische Unzuverlässigkeit sowie extreme Probleme mit



Sukhoi Superjet 100

Wikipedia

der Ersatzteilversorgung. Ganze Flotten lagen still, weil Teile fehlten. Dazu kam das ramponierte Image des Herstellers durch den Absturz eines Superjets im Mai 2012. Auf einer Demonstrations-Tour durch Asien war ein Superjet nach einem zu frühen Sinkflug in Indonesien in einen Berg geflogen. Alle 45 Personen an Bord waren damals ums Leben gekommen: die Crew, Ingenieure und Führungskräfte von Sukhoi, Journalisten und Airline-Manager.

Die technischen Probleme haben sogar im Heimatland des Flugzeugs zum zeitweisen Grounding von vier Aeroflot Superjets geführt. Bei Aeroflot sind die Betriebskosten des Jets etwa doppelt so hoch wie die anderer Maschinen, die Flugzeit pro Tag beträgt mit knapp vier Stunden nur halb so viel wie bei anderen Mustern.

In den Nachbeben des Sheremetyevo-Unfalls haben nun sogar die ersten russischen Airlines ihre Bestellungen storniert. Einen Tag nach dem Unfall gab die russische Fluggesellschaft Yamal bekannt, die letzten zehn

bestellten Superjets nicht abzunehmen, eine Woche später gab RusLine, bekannt, dass man auf den geplanten Kauf von 18 Superjets verzichten wolle. RusLine begründete das ganz offen mit dem schlechten Image des Flugzeugs. Am Schluss scheint Aeroflot als größter Betreiber zu verbleiben. Im September 2018 unterzeichnete die Airline einen weiteren Vertrag über die Lieferung von 100 SSJ100.

Die Fragen nach dem Unfall

Unmittelbar nach dem Unfall wurden viele Fragen gestellt. Die Öffentlichkeit wollte wissen: Wie sicher ist die Aeroflot? In den Medien wurde gefragt: Wie sicher ist der Superjet? Gab es Schlamperei in der Fertigung? Die Fachleute fragten, wie konnte ein "einfacher" Blitzschlag solche gravierenden

Cockpit des Sukhoi Superiet 100

Foto: Ralf Roletschek, Wikipedia

Auswirkungen auf die Steuerung haben? Für die Unfallermittler stellte sich die Frage, warum die Struktur so versagen konnte, dass die Tanks leckschlugen. Vielfach wurde außerdem in den Medien die Frage gestellt, ob die Feuerwehr in Sheremetyevo den Anforderungen entsprochen und angemessen reagiert hat.

Am Schlimmsten fand ich persönlich die Vorwürfe, Passagiere, die ihr Gepäck bei der Evakuierung mitgenommen hatten, hätten damit am Tod ihrer Mitreisenden eine Mitschuld. Hier wird den geschockten Opfern einer Katastrophe eine Verantwortung zugeschoben, die absolut unangemessen ist. Zum einen tragen die Airlines die Verantwortung für die Menge an Handgepäck, die mit in die Kabine genommen wird, zum anderen die Zulassungsbehörden, die das genehmi-

gen. Wie irrational, unvernünftig, aber oft auch apathisch Menschen immer wieder in Notsituationen reagieren, das war lange vor dem Crash bekannt. Das Thema wird seit dem Zusammenstoß zweier B747 auf Teneriffa 1977 wissenschaftlich erforscht. Damals haben Überlebende aus dem lichterloh brennenden PanAm Wrack Gepäckstücke mitgenommen und konnten später nicht sagen, warum sie das überhaupt gemacht hatten. Andere dagegen sind nach Passagierberichten

betäubt in ihren Sitzen geblieben und dort umgekommen.⁹ Zur besseren Evakuierung ein Konzept zu finden ist nicht Aufgabe der traumatisierten Passagiere bei einem Unfall.

Thema dieses Artikels sollen aber nicht diese Fragen sein, sondern ganz andere: Was können wir Piloten aus dem Unfall lernen? Können wir Verhaltensweisen bei den verunglückten Piloten erkennen, die uns bekannt vorkommen? Könnten wir nicht selbst jederzeit in so eine Lage kommen? Welche Rolle spielt das Training der Piloten bei diesem Unfall? Gibt es da Defizite, die sich auch bei unserem Training zeigen?

Hat das Design des Fly-by-Wire-Systems mit seinen leichten Steuerkräften zu dem Unfall beigetragen, das so auch in unseren westlichen Airbus-Flugzeugen verbaut ist? Piloten im Superjet und auch in den Fly-by-Wire-Flugzeugen von Airbus müssen und können im "Normal Law" ihr ganzes Fliegerleben lang nicht trimmen. Wie ist die Idee zu bewerten, dass dieselben Piloten im Notfall - vielleicht einmal im Leben - dazu angemessen in der Lage sein sollen? Es gibt keine Trim-Anzeige im Cockpit und auch keine Trim-Schalter am Sidestick. Reicht für diese anspruchsvolle und ungewohnte Trim-Aufgabe ein einmaliges Training bei der Typerating-Schulung? Unterschätzen wir Piloten die mögliche Dynamik, die eine Bounced Landing mit sich bringen kann?

Wie ist die Entscheidung der Crew zu sehen, einem Gewitter auf der Abflugroute nicht auszuweichen? Warum die hastige Entscheidung zur sofortigen Umkehr? Warum fehlte jede Reaktion auf die Windshear-Warnungen im Anflug? Diesen Fragen möchte ich jetzt nachgehen. Acht Schritte umfasst die Abfolge der Ereignisse, die zum Tod von 41 Menschen geführt haben. Hätte nur ein einziger Schritt anders ausgesehen, wäre nichts passiert...

1. Schritt: Flug durch den Rand einer Gewitterzelle

Es war nur eine Frage der Zeit, bis irgendwann in einem Unfallbericht ein bestimmter Passus aus dem Handbuch des Wetterradars zitiert werden würde. Das Interstate Aviation Committee MAK hat genau das in seinem Zwischenbericht schon auf Seite 15 gemacht: Das Handbuch des Superjet Honeywell RDR-4000 Weather Radar – auch eingebaut in allen Airbus-Flugzeugen – enthält folgenden Passus:

"... while planning to avoid the thunderstorm cell, the crew must consider to the thunderstorm cell altitude and apply the following: to fly-around amber, red and magenta zones at a distance of 20 nautical miles as a minimum."

Dieser Passus bedarf der Erläuterung. Man kann diese Ausführungen nur als Empfehlungen sehen. Im täglichen Flugbetrieb ist die Empfehlung jedenfalls unbrauchbar. Es ist sicher sinnvoll, zu Gewitterzellen einen großen Abstand zu halten. Spätestens aber, wenn man in Platznähe kommt, geht das mit den 20 NM nicht mehr. Um überhaupt noch starten oder landen zu können, dürfte nach diesem Handbuch kein einziges gelbes Radarecho im Umkreis von 20 NM um den Flugplatz sein – also innerhalb einer Fläche von 4.310 Quadratkilometern! Jeder Flugbe-

^{9) &}quot;Collision on Tenerife", John Ziomek, Post Hill Press, New York 2018

trieb käme dann wegen einer einzigen Wolke zum Erliegen. Wie wir aber bei Gewitterwetterlagen rund um den Globus sehen, geht auch in Gewitternähe der Flugbetrieb munter weiter - und so war es auch an jenem Mai-Tag in Sheremetyevo. Es liegt einzig in der die Verantwortung des Kapitäns, zu entscheiden, ob der Abstand zur Gewitterzelle sicher ist oder nicht. Man kann daher meiner Meinung nach der Superjet-Crew nicht vorwerfen, mit weniger als 20 NM Abstand zu der Zelle geflogen zu sein. Übrigens zeigen auch Safety Informationen von Airbus zum Thema Wetterradar alternative Routen um Gewitterzellen mit weniger als 20 NM Abstand.

Die in Moskau gewählte Distanz war jedoch viel zu gering und das Einfliegen in die Wolke mit Risiken verbunden und absolut unnötig. Wie kam es dazu?

Die Superjet-Crew stand fünf Minuten lang auf der Startbahn, bevor die Startfreigabe erteilt wurde. Das gab den Piloten mehr Zeit als sonst, das hereinziehende Wetter sowohl. auf dem Radarbild als auch durch die Cockpitscheiben zu begutachten und sich einen Plan zurechtzulegen. Leider wurde die Zeit nicht genutzt. Ein Ausweichkurs nach dem Start wurde nicht erbeten, so wie das die anderen Crews gemacht hatten. Vielleicht hatte der Kapitän gehofft, die Abflugroute würde frei von der Wolke bleiben. Ein letztes Abdrehen (ohne Freigabe) von der SID im Heading-Mode brachte jedenfalls nicht den erhofften Erfolg: Das Flugzeug flog kurz in die Wolke ein.

Die Entscheidung, "nichts zu entscheiden" und einfach loszufliegen, scheint ein typischer Fall von "Complacency" (Selbstgefälligkeit, Nachlässigkeit) gewesen zu sein,

einer nicht nur in der Luftfahrt äußerst gefährlichen Haltung. Complacency ist der englische Begriff für "Es ist noch immer gut gegangen, also immer mit der Ruhe". Und tatsächlich: Der Kapitän spricht es sogar wörtlich aus: "Nothing to worry about." Die Definition des Begriffs Complacency, die auf die Luftfahrt am besten zutrifft, ist diese hier:

Complacency:

Self-satisfaction especially when accompanied by unawareness of actual dangers or deficiencies.

2. Schritt: Blitzschlag und Transition der Steuerung in den "Direct Mode"

Wir alle kennen die Gefahren, die einem im Gewitter drohen: Extreme Turbulenzen, starker Niederschlag, Hagel, Vereisung, Fallwinde, Windscherungen und Blitzschlag. Beim Unfall des Superjets spielte lediglich der Blitzschlag eine Rolle, daher wurde nur dazu vom MAK recherchiert: Man hat herausgefunden, dass es bisher bei 16 Superjet-Flügen zu einem Blitzschlag gekommen ist. In acht Fällen gab es überhaupt keine Schäden, in den meisten anderen nur kleine Lackschäden oder beschädigte Nieten. In zwei Fällen musste nach Blitzschlag jeweils die VHF2-Antenne gewechselt werden, in einem Fall sogar das Radome. Diese Daten decken sich auch mit meinen persönlichen Erfahrungen aus 40 Jahren Jetfliegerei: Blitzschläge sind selten und verursachen meist nur geringe oder keine Schäden. Allein wegen einem ganz anderen Faktor lohnt es sich immer, einen Blitzschlag möglichst zu vermeiden: Eine Blitzschlagkontrolle kann je nach Flugzeugtyp mehrere Stunden dauern

und den Flugplan gehörig durcheinander bringen.

Der Superjet-Blitzschlag in Sheremetyevo war der erste, der zum Wechsel der Steuerung in den "Direct Mode" führte. Insgesamt gab es bei acht früheren Vorfällen aus anderen Gründen eine Transition in den "Direct Mode".

Bei der Zulassung des Sukhoi Superjet wurde der Wechsel des Flight-Control-Systems in den "Direct Mode" als "complicated situation" eingestuft. Die damit verbundenen Konsequenzen wie verringerte Steuerbarkeit, manuelle Trimmung, der Ausfall des automatischen Flight-Control-Systems sowie das geringe Training für diesen Flugmodus hatten direkte Auswirkungen auf den Ausgang des Fluges. Der Wechsel in den "Direct Mode" trug daher unmittelbar zum Unfall bei. Warum die Flight-Control-Computer des Superjets nicht besser gegen Überspannungen durch Blitzschlag geschützt waren, dazu bedarf es noch weiterer Untersuchungen.

3. Schritt: Entscheidung zur Umkehr

Die Entscheidung des Kapitäns zur sofortigen Umkehr nach Sheremetyevo war das dritte und besonders wichtige Glied in der Kette, die zum Unfall führte. Aus dem Zwischenbericht geht nicht hervor, warum diese Entscheidung überhaupt getroffen wurde. Das MAK schreibt dazu lediglich:

"After short discussion with the FO, the PIC made the decision to return to Sheremetyevo."

Wir wissen nicht, was der Kapitän gesagt hat, und auch nicht, was der Copilot zu der "discussion" beigetragen hat. Es ist aber mehr als fraglich, ob die Crew ein gründliches FORDEC (Facts, Options, Risks & Benefits, Decision, Execution, Check) angewandt hat, wie es heute in der Luftfahrt üblich ist. Eine strukturierte Entscheidungsfindung kann schon allein aufgrund der extrem kurzen Zeit der "short discussion" nicht stattgefunden haben. Wir wissen, wie lange diese Diskussion maximal gedauert haben kann:

- Um 15:08 und 11 Sekunden fiel der Autopilot aus und der Callout "Direct Mode! Direct Mode!" war auf dem Cockpit Voice Recorder zu hören.
- Um 15:09 und 32 Sekunden "after the discussion, the crew set the 7600 squawk code (for the lost radio communication)".

Vom Eintreten des Fehlers bis zur Entscheidung zur Umkehr vergingen also gerade einmal 81 Sekunden. In diese superkurze Zeitspanne fielen die manuelle Übernahme der Steuerung mit hektischen Sidestick-Ausschlägen durch den Kapitän, die erwähnte "short discussion" und die vergeblichen Versuche des Copiloten, auf VHF 1 den Funkkontakt herzustellen.

Es gibt Vermutungen, warum der Kapitän so schnell zu dem Schluss kam, sofort nach Sheremetyevo zurückkehren zu müssen:

 Simulator Training: Wir haben das in der Vergangenheit im Simulator immer so gemacht: Nach dem Start an der Home-Base trat ein Fehler auf, die Checklisten wurden runtergelesen, und dann ein schneller Radar Vector zurück zur Landebahn. So war man schneller fertig für das nächste Simulator-Problem. Es ist kein Wunder, wenn eine so trainierte Crew auch im Flugzeug bei gleichen Problemen auf die antrainierten Simulator-Lösungen zurückgreift.

 Home-Base: Es ist für jede Crew erst einmal verlockend und eine vermeintlich gute Lösung, bei Problemen an die Home Base zurückzukehren, wo unter anderem auch Wartungsmöglichkeiten bestehen.

In der Fliegerei führt jedoch der schnellste, erste Einfall nicht immer zur besten Lösung. Fest steht jedenfalls, dass die Superjet-Crew zum Entscheidungszeitpunkt noch nicht einmal das "F" aus FORDEC, also die Facts, kannte. Da die QRH-Checkliste noch nicht gelesen war, war auch der Status des Flugzeugs noch nicht vollständig verstanden und bekannt. Auch wusste die Crew zum Entscheidungszeitpunkt nicht, wie das Wetter auf dem Endanflug aussah. Das Flugzeug stand fünf Minuten lang auf der Startbahn, eine Beobachtung der schnell ziehenden Zellen auf dem Endanflug war also vor dem Start nicht möglich gewesen.

Um solche "Schnellschüsse" bei der Entscheidungsfindung zu vermeiden, hat z.B. Airbus in seinen Abnormal Procedures einen wichtigen Passus eingefügt:

"Operational Decision:

Unless the situation dictates, an operational decision should only be made after STATUS has been read or after the Non ECAM Procedure has been completed."

Eine operationelle Entscheidung sollte also überhaupt nicht getroffen werden, bis alle Abnormal-Checklisten vollständig gelesen – und vor allem verstanden – wurden. Eine "sofortige Umkehr" sollte extremen Situationen vorbehalten sein, z.B. Feuer an Bord oder kein Treibstoff mehr. Der Superjet hätte mit diesem Fehler noch Stunden fliegen können, er war für den Flug nach Murmansk betankt worden.

Auf dem A380 trainieren wir inzwischen anders als oben erwähnt: Selbst bei komplizierten Fehlern kurz nach dem Start fliegen wir erst mal weiter. Dann arbeiten wir nach und nach die Checklisten ab. Erst danach erfolgt die Entscheidungsfindung nach gründlichem FORDEC. Dazu wird unter Umständen auch Kontakt mit der Wartung aufgenommen, und/oder mit dem Operation Control Center, Erst danach kommen wir zu einer Entscheidung. Und die sieht manchmal vor, einfach weiter zum Zielflugplatz oder woanders hin zu fliegen. Eine unreflektierte "schnelle Rückkehr", wie früher immer gemacht, würde in so einem Szenario kritisiert werden.

4. Schritt: Die verpasste Chance für ein Holding Pattern

Nach der Entscheidung des Kapitäns zur Umkehr ging alles viel zu schnell: Der PIC flog das Flugzeug von Hand ohne Flight Director und ohne Autothrust. Er hatte große Probleme, das Flugzeug unter Kontrolle zu halten. Fragen des Fluglotsen mussten beantwortet werden, mit der Cabin Crew musste gesprochen werden. Die Checklisten mussten gelesen werden. Erst fünf Minuten nach dem Auftreten des Fehlers verlangte der Kapitän die QRH-Checkliste "Direct Mode". Wegen Missverständnissen

und verschiedenen Funksprüchen – darunter die Anflugfreigabe für das ILS – begann der Copilot erst weitere drei Minuten später mit dem Lesen der Liste. Die Anflugfreigabe war also bereits erteilt, als mit der Anflugvorbereitung noch gar nicht begonnen worden war. Die folgenden Aktionen hätten vor dem Anflug erledigt werden müssen:

- QRH-Checkliste "Direct Mode",
- · QRH-Checkliste "Overweight Landing",
- Wetter-Check.
- Approach-Briefing,
- Approach-Checklist.

Der Kapitän hatte erkannt, dass die verbleibende Zeit nicht ausreichen würde. Daher forderte er den Copiloten auf, zu melden, dass man noch nicht fertig für den Anflug sei. Der Copilot verlangte daraufhin einen "orbit" (Vollkreis) und kurz darauf "the circuit", also ein neues Pattern für den Anflug. Nur anderthalb Minuten später versuchte der Kapitän selbst, den Fluglotsen zu erreichen, und verlangte eine Warteschleife. Wie bereits weiter oben erwähnt, ist dieser versuchte Funkspruch unglücklicherweise nur auf dem Cockpit Voice Recorder zu hören, nicht aber auf dem Band der Flugsicherung.

Sicher hat es jeder von uns schon einmal in einer stressigen Situation erlebt, dass man etwas sagen oder tun wollte, diese Absicht dann aber im allgemeinen Durcheinander nicht rüberbringen konnte. Und schon war die Idee wieder weg und man war mit anderem beschäftigt. So auch in diesem Fall. Während dem Vollkreis las der Copilot die QRH-Checkliste "Overweight Landing" und der Kapitän griff die Frage nach dem Holding nicht wieder auf. Daher ging die Chance verloren, den Anflug sorgfältig vorzuberei-

ten. Nach dem Wetter wurde nicht gefragt (für den Anflugzeitraum waren Windscherungen vorhergesagt), das Approach-Briefing wurde nicht gemacht und die Approach-Checkliste nicht gelesen.

5. Schritt: Das Flugzeug wurde nicht richtig ausgetrimmt

Wie bei Airbus-Flugzeugen im "Direct Law", so muss auch der Superjet im "Direct Mode" von Hand getrimmt werden. Und das ist gar nicht so einfach wie z.B. bei Boeing-Flugzeugen, wo der "Flugdaumen" am Steuerhorn immer auf den Trim-Switches liegt. Beim Superjet im "Direct Mode" muss zum Trimmen – wie bei einer Cessna ohne elektrischen Trim – umgegriffen werden. Die Trim-Switches sind auf der Mittelkonsole und werden normalerweise nie benutzt – nur in diesem Modus sind sie im Flug aktiv. Für jede Trim-Bewegung muss der Pilot die Schubhebel loslassen, die Trim-Switches suchen und betätigen.



Der stark beschädigte Flight Data Recorder. Die Daten konnten erfolgreich ausgelesen werden und tragen nun zur Aufklärung des Unfalls bei. Foto: MAK

Der Kapitän trimmte das Flugzeug während dem Klappenfahren noch aus, danach nicht mehr (bis auf einen einzigen kurzen Trim-Input). Die Trimmung war zu weit vorne, was



der Kapitän durch ständiges Ziehen am Sidestick ausgleichen musste. Dass er das nicht bemerkt hat, lag u.U. am hohen Stresslevel und den geringen Steuerkräften, die für den federbelasteten Sidestick nötig waren. Der Copilot konnte den Miss-Trim nicht erkennen. Zum einen gibt es im Superjet wie bei Airbus - keine Trim-Anzeige und auch keine Anzeige der Höhenruderposition. Ob der Sidestick des anderen Piloten ausgeschlagen ist oder nicht, kann man bei Fly-by-Wire-Flugzeugen mit dieser Technologie nicht erkennen. Bei einem Flugzeug mit herkömmlicher Steuerung würden beim Pilot Monitoring sämtliche Alarmglocken läuten, wenn ein Anflug mit ständig gezogener Steuersäule durchgeführt würde.

Falscher Trim in Nose-down-Position kann bei Fly-by-Wire-Flugzeugen sogar im normalen Flug zu einer harten Landung führen.¹⁰

10) Das kann z.B. passieren, wenn beim Durchfliegen eines Aufwinds in niedriger Höhe der Trim automatisch nach vorne läuft und dann stoppt, weil das Flugzeug zum Flare in das Direct Law wechselt. Zum Um wieviel schwieriger ist dann diese Situation im "Direct Mode" zu sehen? Die abnormale Trim-Position wurde im Zwischenbericht des MAK beschrieben, aber noch nicht abschließend bewertet.

In meinem Artikel "Mode Confusion und designbegünstigte Unfälle", erschienen in *Pilot und Flugzeug* 2019/05, habe ich darauf hingewiesen, dass das manuelle Trimmen im Direct Law problematisch sein kann. Das hat sich bei diesem Unfall mehr als deutlich gezeigt. Die internationale Pilotenvereinigung IFALPA hat im März 2019 ein Positionspapier veröffentlicht.¹¹ Darin wird auch für Fly-by-Wire-Flugzeuge mehr Training im Umgang mit dem Thema "Trim" verlangt.

Flare hat man dann u.U. nicht genug Elevator zur Verfügung. Auf dem A340 hatte ich das schon erlebt und konnte die Nase selbst mit voll durchgezogenen Sidestick nicht ausreichend hoch bekommen. Eine Flugschreiberauswertung hat diese Zusammenhänge bestätigt.

11) IFALPA: "LOC-I and Aircraft Trim Systems", Link am Ende des Artikels

6. Schritt: Unstabilisierter Anflug und die Rolle des Pilot Monitoring

Spätestens mit dem Localizer Intercept war die Besatzung "behind the aircraft". Ohne Approach-Briefing und -Checkliste flog die Crew das ILS herunter, Auch der Status des Flugzeugs war nicht verstanden worden (so wurde unter anderem die nicht funktionierende Autospeedbrake armiert und später beim Aufsetzen nicht manuell ausgefahren). Wahrscheinlich infolge des Misstrims flog der Kapitän ständig unter dem Gleitweg. Vom Copiloten, der auf diesem Flug "Pilot Monitoring" war, kam offenbar kein Hinweis dazu. Auch spätere Warnungen, die zum Durchstarten hätten führen müssen, wurden nicht kommentiert. Aus eigener Erfahrung weiß ich sehr wohl, wie schnell man als Pilot Flying im Anflug einen Tunnelblick entwickeln kann und den einfachen Ausweg einen Go-around zu fliegen - einfach nicht mehr erkennt. Umso wichtiger ist für einen sicheren Flugbetrieb ein wacher "Pilot Monitoring", der laut und unmissverständlich auf Abweichungen und Probleme hinweist. Leider ist dem Zwischenbericht nicht zu entnehmen, ob bei Aeroflot - wie bei uns - der Copilot einen Go-around kommandieren darf. Die Rolle des Copiloten wird in dem Zwischenbericht überhaupt nicht beleuchtet. Das ist bedauerlich. Was hätte man von dem Copiloten auf diesem Flug erwartet? Der Copilot hätte vor dem Start deutlich seine Meinung zum Thema Ausweichen vor der Gewitterwolke kundtun können. Er hätte den Kapitän darauf hinweisen müssen, dass es zu früh für den Anflug war, weil die Vorbereitungen noch nicht abgeschlossen waren. Und er hätte den Kapitän zum Durchstarten drängen müssen, weil der Anflug nicht stabilisiert war und weil Warnungen das verlangten.

7. Schritt: "Windshear! Go-around!"

Die Crew hatte im Departure Briefing gesagt: "No special weather phenomena." Doch das stimmte nun überhaupt nicht. Der Durchzug einer Gewitterfront durch das Gebiet von Moskau war schon seit Stunden in allen Wettermeldungen. Auch wurden für Sheremetyevo Windscherungen vorhersagt:

- UUEE WS WRNG 1 050954 VALID 051000/051400 WS IN APCH FCST.
- UUEE WS WRNG 2 051347 VALID 051400/051800 WS IN APCH FCST.

Egal, wie die Wettermeldungen aussahen, die der Crew beim Briefing vorgelegt wurden: Der Blick aus dem Cockpitfenster und auf das Wetterradar zeigte den Piloten deutlich Gewittertätigkeit. Bei einer solchen Wetterlage sind Windscherungen im Anflug nie ganz auszuschließen. Dennoch hat sich der Kapitän dazu entschieden, mit dem vorliegenden Flight-Control-Problem einen Anflug zu machen.

Auf dem Endanflug kam es dann in 1.100 Fuß Radarhöhe zu den Windshear-Warnungen. Für elf Sekunden ertönte – insgesamt fünfmal wiederholt – der Voice Callout:

"GO-AROUND, WINDSHEAR AHEAD"

Es erfolgte keinerlei Reaktion der Crew auf diese Warnungen. Der Zwischenbericht geht darauf noch nicht ein. Es wurde aber ein Auszug aus dem QRH "W/S AHEAD" zitiert, in dem steht:

"... triggering of this warning during the approach indicates that the crew must initiate the go-around procedure."

Mit der Entscheidung, trotz aktiver "GO-AROUND, WINDSHEAR AHEAD" Warnung einfach weiterzufliegen, wurde die siebte Chance vertan, den Flug noch zu retten. Was die Crew sicher nicht bedacht hatte: Ein späterer Einflug in eine tatsächliche Windscherung hätte zu großen Problemen mit der Steuerung führen können:

Das Verfahren zur Windshear Recovery z.B. bei Airbus sieht ein Folgen der Flight Director Anzeige vor, wobei der Sidestick u.U. bis zum Anschlag nach hinten gezogen werden muss. Das geht natürlich nur, wenn der Flight Director und das Normal Law mit seinen Protections funktioniert. Es gibt bei Airbus weder ein Verfahren noch ein Training für eine Windshear Recovery im Direct Law. Es ist anzunehmen, dass das auf dem Superjet ähnlich ist.

Mit dem Anflug im "Direct Mode" in windshear-verdächtigem Wetter nimmt man ein hohes Risiko in Kauf.

8. Schritt: Die Warnung "GLIDESLOPE"

Kurz nach Passieren des Minimums (270ft) sank das Flugzeug schnell unter den Glideslope (bis minus 1,4 dots). Sofort ertönte für vier Sekunden die Warnung "GLIDESLOPE GLIDESLOPE", die sofort mit dem Callout "Advisory" vom Kapitän quittiert wurde. Nach dem Aeroflot Manual ist der Auto-Callout GLIDESLOPE unterhalb des Minimums tatsächlich "advisory".

Das von Aeroflot verwendete Superjet Manual (FCOM Part 1, Chapter 1.04, Standard Operation Procedures) ist allerdings zu dem Aeroflot Manual nicht kompatibel. Das FCOM "prescribes to perform the go-around in case of any alert of the warning or caution level (except for the engine failure alert) at within the height range of below 1000 ft and above 100 ft. The "GLIDE-SLOPE" alert is a caution annunciation."

Auch bei Airbus-Flugzeugen wird der Callout GLIDESLOPE hoch bewertet. Dort steht im Handbuch: "Go-around consider."
Bei der Warnung GLIDESLOPE GLIDESLOPE schob der Kapitän die Schubhebel vor, und die Triebwerke liefen auf 74 bis 78% N1 hoch. War in 40 ft die Geschwindigkeit noch 164 Knoten gewesen, so stieg sie bis 16ft auf 170 Knoten an (Target Speed 155 Knoten). In 17 Fuß ertönte der Callout "RETARD, RETARD". Der Kapitän zog die Schubhebel auf Leerlauf zurück und gleichzeitig zog er den Sidestick zum Flare zurück – auf 65% des Vollausschlags…

Mit dem fehlenden Go-around 1,4 Dots unter dem Glideslope war die achte und letzte Chance vertan, das Unglück abzuwenden.

Die verunglückte Landung – ein klassisches Pilot-Induced-Oscillation-Szenario

In dem Zwischenbericht ist der Ablauf der Landung – wie anfangs beschrieben – detailliert wiedergegeben. Um zu ergründen, warum der Kapitän so extreme Steuereingaben gemacht hat, bedarf es noch weiterer Untersuchungen. Es sind allerdings genügend Informationen im MAK-Bericht aufgeführt, die auf einen extremen Fall von PIO, also von Pilot-Induced-Oscillation, hinweisen. Dieses Phänomen hat schon früher zu einigen spektakulären Unfällen geführt, auch bei Fly-by-Wire-Flugzeugen.

Von dem Moment an, in dem der Kapitän zum Flare den Sidestick weit zurückzog, bis zum letzten Aufschlag mit nicht weniger als 5g vergingen nur elf Sekunden. Keine Zeit mehr für die Crew, die hochdynamische Situation zu verstehen und zu analysieren.

Dennoch ist es wichtig, gerade diese Vorgänge zu verstehen. Nur so kann man Strategien für Piloten zeigen, wie man vermeiden kann, in solche Situationen zu kommen – und was man tun kann, wenn man sich in einer ähnlichen Lage wiederfindet. Das Thema PIO ist zu komplex, um es hier zu erläutern, deshalb möchte ich darauf in einem späteren Artikel genauer eingehen.



Der erste von drei Touchdowns, dieser mit "no less than" 2,55 g. Unten: Beginn der Evakuierung MAK, Youtube Video



Fazit

Der Unfall des Aeroflot Superjets in Moskau-Sheremetyevo gehört höchstwahrscheinlich zu den vermeidbaren Katastrophen in der Luftfahrt. Er bietet für uns Piloten Erkenntnisse zu einer ganzen Liste von Verhaltensweisen, die das Fliegen sicherer machen können. Die Anwendung dieser inzwischen überall gelehrten Strategien hätte den Unfall verhindern können. Eine bessere – und traurigere – Bestätigung dieser Konzepte kann man sich nicht vorstellen. Hier noch einmal die Liste der wichtigsten wünschenswerten Verhaltensweisen:

- Umsicht und Vorbereitung: Gründliche Analyse der Wettersituation vor dem Start und vor dem Anflua.
- Aufmerksamkeit und Flexibilität:
 Keine Kompromisse bei schwerem
 Wetter. Start oder Landung verschieben, wenn nötig. Ausweichen vor
 Gewitterwolken so früh wie möglich.
- FORDEC: Die Analyse von Systemfehlern und/oder schwieriger Wetterbedingungen nach FORDEC erfordert Zeit.
 Keine Shortcuts und keine unüberlegten, vorschnellen Entscheidungen.

- Alternativen: Zum FORDEC gehört die Suche nach Alternativen. Es gibt noch mehr Möglichkeiten als die Rückkehr oder der Flug zum Zielflugplatz.
- Approach Briefing: Kein Anflug ohne Approach Briefing. Gibt es kurzfristige Änderungen, z.B. Systemausfälle oder eine andere Bahn: Durchstarten, Analyse, neues Briefing.
- Zuhören: Gilt besonders für Kapitäne.
 Hören bzw. Erfragen der Meinung des zweiten Piloten.
- Einmischen: Der Pilot Monitoring muss sich einmischen, wenn er feststellt, dass etwas nicht richtig läuft: Hinweise auf Wetter etc., Ansagen, wenn noch nicht alles erledigt ist, Durchstarten fordern, wenn nicht stabilisiert.

Obwohl diese Konzepte für die Verkehrsfliegerei entwickelt wurden, helfen sie auch Piloten der Allgemeinen Luftfahrt. Insbesondere hilft ein Approach-Briefing auch im Single-Pilot Cockpit. Und ein stabilisierter Anflug sollte mit jedem Flugzeugtyp erfolgen.

Bei kaum einem anderen Unfall passt folgendes Zitat besser, das dem NASA-Astronauten Frank Borman zugeschrieben wurde:

"A superior pilot uses his superior judgement to avoid situations which require the use of his superior skill."

Quellen und Literatur:

- [1] Suchoi Superjet 100 Product Brochure Sukhoi Civil Aircraft Company (SCAC) http://www.scac.ru/en/wp-content/ uploads/2019/SSJ100_ENG_brochure_2019.pdf
- [2] Liebherr SSJ100 flight controls for Sukhoi Superjet 100 Video by aeronews.com https://www.youtube.com/ watch?v=S09bfYX066E
- [3] Aeroflot Suchoi Superjet Accident, Moskau-Sheremetyevo May 5, 2019 INTERSTATE AVIATION COMMITTEE AIR ACCIDENT INVESTIGATION COMMISSION, Interim Report https://mak-iac.org/upload/iblock/c01/ report_ra-89098_pr_en.pdf
- [4] Videos des Unfalls zu finden bei Avition Herald http://avherald. com/h?article=4c78f3e6/0007&opt=4096

