Superjet – Pilot Induced Oscillation

Anatomie eines Flugunfalls – Teil 2

Am 5. Mai 2019 verunglückte ein Sukhoi Superjet 100 auf dem Flughafen Moskau-Sheremetyevo. In *Pilot und Flugzeug* 2019/10 wurden der zeitliche Ablauf des Fluges beschrieben sowie die acht Schritte, die in 28 Minuten bis über die Landebahnschwelle das Unglück erst ermöglicht hatten. Hier geht es nun um die letzten dynamischen elf Sekunden, in denen der Kapitän die Kontrolle über das Flugzeug verlor. Das Flugzeug – gesteuert mit Vollausschlägen bis in die Endanschläge – geriet in heftige Schwingungen um die Querachse, schlug in kurzer Folge dreimal auf die Landebahn und ging dann in Flammen auf. Die beobachteten Schwingungen werden als „Pilot Induced Oscillations“ (PIO) bezeichnet. Dieses Phänomen kann jeden Piloten treffen, auf jedem noch so „harmlosen“ Flugzeugtyp...

Der technische Zustand des Flugzeugs zu Beginn des Abfangens

Nach einem Blitzschlag im Abflug war das Funkgerät VHF 1 ausgefallen. Außerdem fiel die Fly-by-Wire-Steuerung, die beim Super-

Superjet beim zweiten Aufsetzen mit dem Bugfahrwerk voran (mindestens 5.85 g). Danach sprang die Maschine nach einmal bis in 15 bis 18 ft Höhe (5 bis 6 m). Foto: Interstate Aviation Committee MAK, Zwischenbericht

jet keinen mechanischen Backup hat, in ihren letzten Fallback-Modus zurück, den sog. Direct Mode. Der Direct Mode beim Superjet entspricht dem „Direct Law“ bei Airbus: Alle Autopilot- und Flight-Director-Funktionen waren ausgefallen, die normale Steuerung über die g-load ebenso wie die sog. Protections, die das Verlassen des zulässigen Flight Envelope verhindern (u.a. g-load und Angle-of-attack Protection). Das Flugzeug war nach wie vor um alle Achsen steuerbar – bis auf eine Besonderheit: Die subjektiv gefühlten Flugeigenschaften waren nun anders. Aerodynamisch gesehen hatte sich das Flugzeug durch den Computer-Downgrade überhaupt nicht verändert: Einem Verkehrsflugzeug ist es völlig egal, ob es von einem Computer oder einem Piloten gesteuert wird. Aber der Pilot erkennt es im Direct Mode erst mal nicht wieder. Im normalen Modus ergibt sich für einen bestimmten Sidestick-Ausschlag immer die gleiche g-load – egal wie die Fluggeschwindigkeit ist. Im Direct Mode jedoch fliegt sich der Flieger nun eher wie eine große Cessna. Die Steuerung war – wie der Name schon sagt – direkt. Das heißt, die Ruder folgten nun direkt den Kommandos der Sidesticks im Cockpit. Dazu musste die Maschine von Hand getrimmt werden. Die Trim-Schalter dafür waren auf der Mittelkonsole.

Die QRH Checkliste F/CTL DIRECT MODE wies – etwas verklausuliert – auf die veränderten Flugeigenschaften hin. Denn die Liste führte eine Reihe Beschränkungen auf, die es den Piloten leichter machen sollte, das Flugzeug unter Kontrolle zu halten. So gab es eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf maximal 280 Knoten oder 0,8 Mach, die Klappen sollten zur Landung nur auf „3“ (statt auf „FULL“) gefahren werden, die Anfluggeschwindigkeit war leicht erhöht. Um Lastigkeitsänderungen zu vermeiden (die die Computer sonst ausgeglichen hätten), sollte bei Nutzung der Speedbrake diese mindestens zur Hälfte (oder mehr) ausgefahren werden. Als wichtigsten Hinweis enthielt die Checkliste den Hinweis: „Fly Smoothly“, auf den ich am Ende es Artikel eingehen möchte. Im Direct Mode werden die elektrischen Signale an den Flight-Control-Computern vorbei direkt zu den Actuators geleitet. Die meisten Piloten von Fly-by-Wire-Flugzeugen glauben daher, dass sie tatsächlich im Direct Mode/Law mit dem Sidestick die direkte Kontrolle über die Steuerflächen haben. Die vermeintliche Bestätigung bekommen diese Kollegen am Boden, wenn beim Flight Control Check die Steuerflächen den Sidestick-Ausschlägen immer bis in den Endausschlag folgen.

Es wäre daher einfach, mit diesem mentalen Modell des Steuerverhaltens zu vermuten: „Klar, der Kapitän war’s. Er hat die Landung vermasselt.“ Das russische Interstate Aviation Committee MAK, das den Superjet-Unfall untersucht, ist meilenweit von so einer Behauptung entfernt. Im Moment ist überhaupt noch nicht klar, warum die Landung so und nicht anders verlaufen ist. Nur eines ist bisher klar: Das oben beschriebene mentale Modell des Steuerverhaltens im Direct Mode/Law (Ruder folgen exakt den Sidestick-Ausschlägen) ist falsch.

Tatsächlich ist es anders: Ohne dass das in den meisten Handbüchern erwähnt ist, fummelt im Direct Mode/Law immer noch ein Computer in der Steuerung mit. Es gibt immer noch Rate Limits, Dämpfungen, ja

sogar – z.B. bei Airbus – Beschränkungen des maximal möglichen Steuerausschlags, die der Pilot nicht überwinden kann.
So stellt das MAK zum Superjet Direct Mode u.a. fest:

- *2 rate sensor units (RSU) give data to ACE to provide the specified damping characteristics of the aircraft in DIRECT MODE.*
- *In DIRECT MODE RSU signals are used to ensure the specified damping characteristics of the aircraft.*

Es lässt sich also sagen, dass zum Beginn des Abfangens zur Landung das Flugzeug noch intakt war. Alle Höhenruder waren angesteuert, lediglich die Flight-Control-Computer hatten ihren Job an die Piloten abgegeben. Der Unterschied zu einer normalen Landung war das andere Verhalten der Steuerflächen auf die Sidestick-Eingaben.

Pilot Induced Oscillation

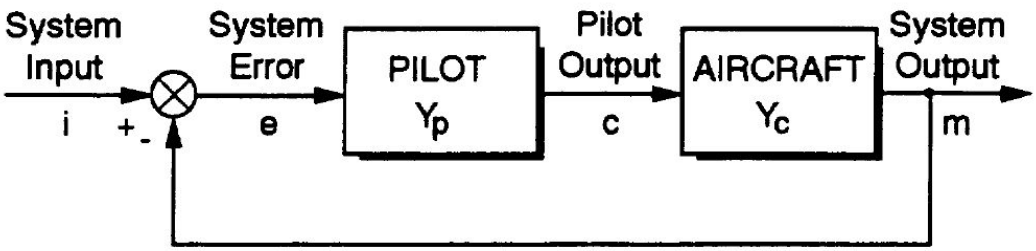
Um die komplizierte dynamische Situation des Superjets bei der Landung zu verstehen, möchte ich zunächst den Begriff „Pilot Induced Oscillation“ erklären. Unter Pilot Induced Oscillation (PIO) versteht man Interaktionen in einem geschlossenen Regelkreis (closed loop) zwischen Pilot, Flugzeug und Steuerung bzw. den Control Laws (bei Fly-by-Wire-Systemen), die zu Schwingungen um eine oder mehrere Achsen führen können. Bleiben diese Schwingungen bestehen (sustained PIO) oder schaukeln sie sich auf (divergent PIO), können sie zu Instabilitäten in der Steuerung bis hin zum Kontrollverlust führen.
Pilot Induced Oscillation ist ein besonders kritisches Sicherheitsproblem in der Luftfahrt. PIO können bei allen Flugzeugtypen auftreten. Sie kommen vor bei Maschinen mit rein mechanischer Steuerung (Piper, Cessna etc.), bei Flugzeugen mit hydraulischer Steuerung (Boeing 737, 747) und auch bei Flugzeugen mit Fly-by-Wire-Steuerung (Airbus A320, A380 etc.).

Pilot Induced Oscillations können um alle Achsen auftreten, nicht nur um die Pitch-Achse. Tritt z.B. PIO in der Pitch-Achse auf, so kann das schnell auch heftige Roll-Schwingungen auslösen.

Weil bei dem Begriff „Pilot Induced Oscillation“ (PIO) der Eindruck entstehen kann, sie

$$Y_{high} = \frac{e^{-\tau_1 s} \prod_{i=1}^{n} (T_i s + 1) \prod_{i=1}^{m} \left[\left(\frac{s}{\omega_i} \right)^2 + \frac{2\zeta_i}{\omega_i} s + 1 \right]}{\prod_{j=1}^{p} (T_j s + 1) \prod_{j=1}^{q} \left[\left(\frac{s}{\omega_j} \right)^2 + \frac{2\zeta_j s}{\omega_j} + 1 \right]}$$

Wissenschaftler würden PIO so erklären. Gut zu wissen, dass man als Pilot Formeln nicht verstehen muss, um das Phänomen zu begreifen. NASA



Einfacher Closed-loop-Pilot-Flugzeug-Regelkreis mit Feedback[1] **NASA**

würden immer vom Piloten „induziert“, also verursacht, wird neuerdings in der Forschung für PIO öfter der Begriff „Pilot In-the-loop Oscillation“ verwand. Damit soll klar gemacht werden, dass diese Schwingungen auch von anderen Elementen des Control Loops erzeugt werden können als dem Piloten. Weil es aber keine PIO gibt, ohne dass der Pilot daran beteiligt ist, werde ich in diesem Artikel weiter – ohne Schuldzuweisung – den Begriff „Pilot Induced Oscillation“ verwenden.

Closed Loop Control System

Es gibt offene (open loop) und geschlossene (closed loop) Regelkreise.

- Open Loop: Die Heckscheibenheizung beim Auto ist ein „Open-Loop“-System: Schaltet man sie an, fließt Strom in die Heizelemente – völlig unabhängig von der Scheibentemperatur. Auch dann, wenn die Scheibe durch die Sonneneinstrahlung schon 50°C warm ist. Bei einer Open-Loop-Steuerung gibt es kein Feedback vom Ausgang der Aktion (hier: Temperatur) zum Input (hier: Schalter, Heizstrom).
- Closed Loop: Ein Bespiel für eine „Closed-Loop“-Regelung mit menschlicher Beteiligung ist die Lautstärkeregelung beim Autoradio. Während man den Regler Richtung „laut“ dreht, hört man hin und erhält „Feedback“, also eine „Rückmeldung“ vom Radio. Kann man noch nichts verstehen, dreht man lauter, tun die Ohren weh, dreht man wieder zurück, bis die richtige Lautstärke eingestellt ist. Das Feedback wirkt sich direkt auf den Input aus.

Ein PIO-Regelkreis ist ein Closed-Loop-System. Und das Komplizierte daran ist das „P“, also der Pilot. Weil es ein Mensch ist. Eine Maschine würde eine Abweichung immer auf dieselbe Weise nach nur einem Feedback-Signal zu null fliegen, z.B. den Glideslope in der Mitte halten.

Ein Mensch erhält viel mehr Feedbacksignale: Anzeigen im Cockpit, g-loads um alle Achsen, sensorische Eindrücke aus dem Innenohr, die auch täuschen können, visuelle Eindrücke von der Landebahn, Callouts, optische Täuschungen z.B. durch geneigte Landebahnen, Blendung durch die Sonne etc. Entsprechend können die Steuerinputs bei gleicher Ablage auch unterschiedlich ausfallen.

1) NASA Contractor Report 4863: „Pilot-Induced Oscillations and Human Dynamic Behavior“, 1995

Aus diesem Grund sind Regelkreise, bei denen der Pilot mitmischt, für Ingenieure nur schwer zu berechnen. Neben den viel umfangreicheren Feedback-Signalen, die ein Pilot gegenüber einer elektronischen Steuerung erhält, gibt es auch eine breitere Streuung des Outputs. Unterschiedliche Piloten steuern ein Flugzeug auf ganz unterschiedliche Weise.
Wenn also ein Pilot in einem ganz bestimmten Flugzeug plötzlich in eine PIO – also in eine ungewollte Schwingung – gerät, heißt das noch lange nicht, dass ein anderer Pilot unter identischen Bedingungen Ähnliches erlebt.

Pilot Gain

Einen Anteil daran, ob ein Pilot eher in eine PIO gerät als ein anderer, ist seine Steuerbandbreite, das sog. Pilot Gain.

„Pilot Gain ist ein im Flugversuch weit verbreiteter Begriff, der einen Aspekt des manuellen Steuerverhaltens von Piloten beschreibt. Während ein Pilot für die gleiche Aufgabe sanfte und eher langsame Steuereingaben vornimmt, führt ein anderer eher hochfrequente, schnellere und insgesamt häufigere Bewegungen aus.“[2]

Es gibt „High Gain“-Piloten und „Low Gain“-Piloten, die identische fliegerische Resultate (z.B. ILS Tracking) liefern, aber mit ganz unterschiedlicher Steueraktivität. Die Theorie sagt, dass jeder Pilot am besten mit seinem persönlichen, „natürlichen“ Pilots Gain fliegen kann. Dennoch: High-Gain-Piloten sind eher von PIO betroffen.

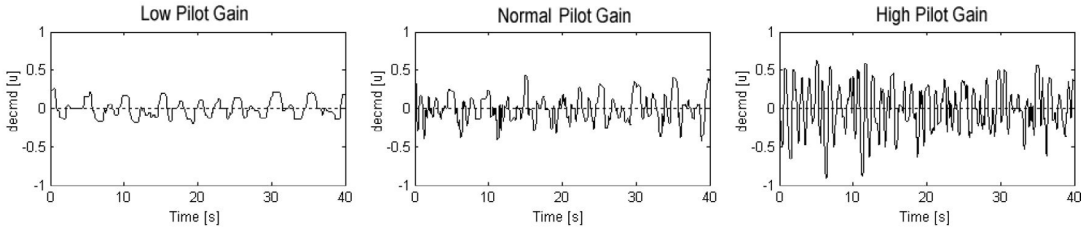
Ich selbst bin - besonders in der Quersteuerung – eher ein High-Gain-Pilot, also einer mit hoher Steueraktivität. Das hat dann auch schon mal – siehe weiter unten – zu einer Roll-PIO geführt

Auslöser für Pilot Induced Oscillations

Wissenschaftliche Untersuchungen[3] haben gezeigt, dass PIO besonders in Situationen auftreten können, die – unabhängig vom individuellen „pilot gain“ – grundsätzlich eher in „High Gain“ geflogen werden. Also z.B. anspruchsvolle Trackingaufgaben wie:

2) Anja Simm: Technical and Psychological Aspects of Pilot Gain, Lehrstuhl für Flugsystemdynamik der Technischen Universität München, 2012

3) Ina Niewind: A New Approach for the Validation of Potential Pilot Gain Measures



Sidestick-Aktivität dreier Piloten bei identischer Steueraufgabe

Abbildung: Ina Niewind, German Aerospace Center, Manching

- enger Formationsflug (auch Schleppflug im Segelflug),
- Luft-zu-Luft Betankung,
- Präzisionsanflüge und Ziellandungen,
- Flugzeugträger-Landungen,
- Abfangen zur Landung.

Auch plötzliche und unerwartete „Transitions“ können zu PIO führen, wie Windshear, Wake-Turbulence, Runway Incursion, Go-arounds, Transition vom Instrument Approach zur visuellen Erfassung der Landebahn.
Weitere PIO Auslöser können flugzeugbedingt sein:

- Triebwerksausfall,
- Instrumentenausfall,
- plötzliche Änderung des Steuerverhaltens (z.B. die Transition in den Direct Mode),
- Flight Control Malfunctions, wie z.B. Stuck Flaps,
- Ungünstige Programmierung der Control Laws,
- Control Saturation[4]: Position Limiting, Rate Limiting, (mehr dazu später).

Besonders gefährliche Auslöser für PIO können harte Landungen und „Bounced Landings“ sein – also Landungen, nach denen das Flugzeug noch einmal wegspringt. Bounced Landings können schnell zum „Porpoising“ führen: das Flugzeug springt mehrmals nach dem Aufsetzen. Porpoising, benannt nach dem Auf und Ab springender Delphine, ist eine besonders gefährliche Form von PIO. Es war genau dieser Bewegungsablauf, der dem Superjet zum Verhängnis wurde.

4) Saturation = Sättigung. Die Steuerflächen sind nicht da, wo sie sein sollten oder erwartet sind.

Overweight Landings und unstabilisierte Anflüge können gelegentlich zu harten Landungen oder Bounced Landings führen. Daher bergen sowohl Overweight Landings als auch unstabilisierte Anflüge ein gewisses PIO-Risiko in sich.

Bounced Landing

Aus über 22.000 Flugstunden Erfahrung kann ich mich nur an drei „Bounced Landings“ gut erinnern, also an Situationen, in denen das Flugzeug nach dem Aufsetzen noch einmal weggesprungen ist. Zwei davon endeten in einem Go-around, nur bei einer Bounced Landing habe ich die Landung fortgesetzt.
Die erste „Landung“ dieser Art war in einem Great-Lakes-Doppeldecker während der Kunstflug-Ausbildung. Nach dem Hochspringen habe ich einfach Gas gegeben und bin durchgestartet. Ein Non-event.
Eine Bounced Landing führte zum Porpoising (siehe unten).
Das dritte Ereignis war eine Landung im Airbus A340-600 in Vancouver, Kanada:
Es war ein ursprünglich stabilisierter Anflug auf die ausreichend lange, aber klatschnasse Landebahn 08R. Es war stürmisch und wir hatten etwa 13 Knoten Seitenwind. Kurz vor dem Abfangen bemerkte ich aus den Augenwinkeln, wie der Boden plötzlich nach „oben“ schnellte. Ich schob rasch Power nach, um eine harte Landung zu verhindern – und zog die Schubhebel danach sofort wieder zurück. Der Schaden war aber schon geschehen: Der Flugweg hatte sich so verflacht, dass das Flugzeug unmittelbar nach dem Aufsetzten wieder abhob:
Durchstarten – oder landen?

Weil der „Bounce“ flach war, entschied ich mich, die Landung fortzusetzen. Ich bemühte mich, die Pitch „festzunageln“, und ließ die Maschine den Rest machen. Dabei muss ich so konzentriert am Sidestick gehangen haben, dass das Flugzeug plötzlich mit kleinen Rollschwingungen begann (PIO), bei über 63 Metern Spannweite keine gute Sache. Ich konnte nicht ins Cockpit gucken, um nachzusehen, wie groß die Querlage war. Ich überlegte, erneut durchzustarten, entschied aber dann, dass die Querlagen klein genug zum Aufsetzen waren.

Nach der Landung bestätigten mir die beiden Copiloten, dass sie die Querlage genau im Blick hatten und dass die kritischen 5° niemals erreicht wurden.

Ich wusste zwar, dass nach dem Airbus-Handbuch ein flaches Springen nicht unbedingt einen Go-around erfordert. Dennoch begann ich im Internet nach „Bounced Landing“ zu recherchieren. Ich fand dabei so viele Unfallberichte, dass ich hier die Empfehlung eines amerikanischen Fluglehrers für Bounced Landings weitergeben möchte:

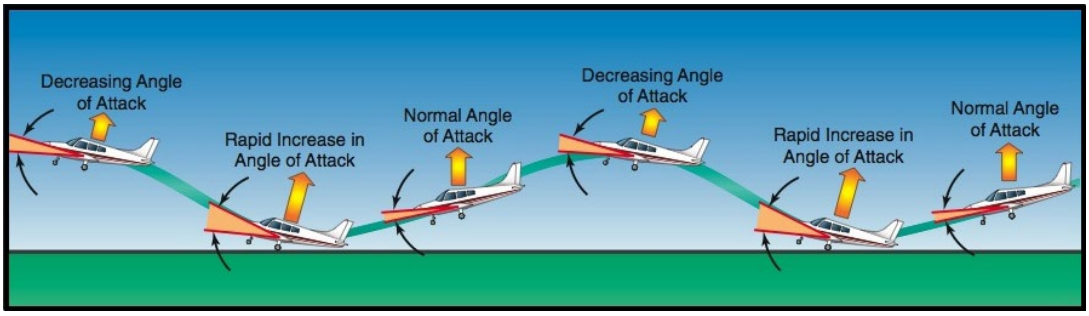
„Versuchen Sie nicht, den Helden zu spielen – starten Sie durch!“

„Porpoising“ – das Flugzeug springt mehrmals

Bei einem Trainingsflug in einer Piper PA28 in Egelsbach begann mein Flugzeug nach dem Aufsetzen zu springen. Heute weiß ich, dass die Ursache die zu hoch gewählte Anfluggeschwindigkeit aus dem Handbuch war.[5] Nach dem ersten Sprung dachte ich noch, ich könnte die Maschine beim zweiten Mal normal hinsetzen, doch dann sprang sie erneut – und höher als vorher.

Ich dachte noch daran, dass der Fluglehrer, der mich auf der Maschine eingewiesen hatte, meinte: „Das schwächste Bauteil der PA28 ist das Bugfahrwerk“ und erwog einen Go-around. Da hörte ich im Kopfhörer den Mann der Luftaufsicht, der wohl meinen Landeversuch beobachtete: „Oh! Oh! Oh!“ Dieser alarmierte Ausruf hat mir sicherlich den Tag gerettet (Danke an dieser Stelle): Ich gab Vollgas, zog die Nase leicht hoch und nach einem dritten festen Aufsetzen des Hauptfahrwerks ging es wieder in die Luft für eine neue Platzrunde...

5) In vielen älteren Flugzeugen sind die Geschwindigkeiten nur für das maximale Fluggewicht veröffentlicht. Ich flog aber solo mit geringer Tankfüllung.



Abwracken in Sekunden: Porpoising gehört zu den gefährlichsten Flugmanövern. Es hilft nur eines: Durchstarten.
FAA Learning Center

Porpoising ist eine extrem gefährliche Form von PIO. Und zwar, weil es einerseits das Flugzeug zuverlässig zerstören kann und es andererseits für den Piloten so aussehen mag, als habe er noch „alles im Griff“, obwohl er längst die Kontrolle verloren hat. Der komplette Vorgang des Porpoising beim Superjet in Moskau vom ersten Aufsetzen bis zum dritten hat nur fünf Sekunden gedauert. Und beim zweiten Aufsetzen war das Flugzeug bereits zerstört.

Beispiele für Pilot Induced Oscillations

- X-15 PIO, Gliding flight approach and landing, 8 June 1959; pilot Scott Crossfield
- F-4 Low altitude record run second pass, 18 May 1961; pilot Cmdr Jack Feldman; destructive PIO
- Space Shuttle Enterprise: ALT-5 Test. PIO during landing approach glide, 26 Oct 1977; pilot Fred Haise; both attitude and path modes involved
- DFBW F-8 severe PIO during touch and goes, 18 April 1978; pilot John Manke
- F-16 unbeabsichtigter Erstflug bei Hochgeschwindigkeits-Rolltest
- Saab JAS 39 Gripen: 1989: Testflug Prototyp, PIO bei der Landung zerstört das Flugzeug, Testpilot überlebt mit Armbruch
- Saab JAS 39 Gripen: 1993: Water Festival Stockholm. Derselbe Testpilot verliert bei Airshow über der Stadt wegen PIO die Kontrolle und steigt mit dem Schleudersitz aus.
- MD-11 China Eastern Airlines FLT 583, 6 April 1993; „Inadvertent slat deployment“ im Reiseflug mit heftigen Pitch Schwingungen. Zwei der der 255 Insassen sterben, es gab 60 Schwerverletzte, darunter drei der acht Cockpit-Crewmitglieder (doppelte Crew aus Kapitän, Copilot, Flugingenieur und Navigator). 96 Insassen wurden leicht verletzt.
- „On 14 September 1999, a F900 [Dassault Falcon] was subjected to rapid and violent vertical load oscillations, which killed most of the passengers, after incorrect crew response to a minor pitch control malfunction“[6].
- Cessna Citation Latitude, 15. August 2019. Mit dem NASCAR Rennfahrer Dale Earnhardt Jr. und seiner Familie an Bord springt die Maschine nach dem Aufsetzen und endet ähnlich wie der Superjet: Nach dem zweiten Wegspringen versucht der Pilot einen Go-around, der nicht gelingt. Beide Hauptfahrwerke brechen zusammen, das Flugzeug geht in Flammen auf. Die Insassen entkommen mit Verletzungen.

Die Liste der Unfälle mit PIO insbesondere bei der Landung ist lang. PIO ist kein Privileg militärischer Testpiloten. Auch die General Aviation und die Verkehrsfliegerei (dort insbesondere die MD-11) sind betroffen. Im Anhang finden Sie einige Links zu Videos dazu.
Auch in dem neuen BFU Bulletin 2019-07 finden sich wieder drei General-Aviation-Unfälle, die wahrscheinlich mit Pilot Induced Oscillation zu tun haben:

6) https://www.skybrary.aero/index.php/F900,_en-route,_South_of_Bucharest_Romania,_1999

- 10. Juli 2019 Koblenz – Aquila A210
  Bei der Landung begann das Flugzeug zu springen. Dabei brach das Bugfahrwerk und der Propeller bekam Bodenberührung.
- 17. Juli 2019 Kempten-Durach – Cessna 172 RG: Bei der Landung geriet das Flugzeug ins Springen und setzte mehrfach auf. Dabei brach das Bugrad, und das Luftfahrzeug überschlug sich.
- 22. Juli 2019 Dobenreuth – Mistral
  Beim F-Schlepp kam es zu einem harten Aufsetzen des Segelflugzeugs, in dessen Folge das Leitwerk abbrach.

Wie bereits erwähnt kann PIO um jede Achse auftreten, nicht nur um die Pitch-Achse. Manchmal induzieren Schwingungen um die eine Achse solche um eine andere. So war es beim Absturz des Saab JAS 39 Prototypen, wo es gleichzeitig zu heftigen Pitch und Rollschwingungen kam. Aus eigener Erfahrung möchte ich folgende Roll-PIO beitragen und gleichzeitig einen Hinweis weitergeben, wie man solche Schwingungen u.U. beenden kann:

- Bei einem meiner ersten Solo-Flugzeugschleppstarts kam es gleich nach dem Abheben zu heftigen Roll-Schwingungen mit gefährlichen Querlagen hinter dem Schleppflugzeug. Erst später habe ich gelernt, dass dieses Ereignis – das sich so nicht wiederholt hat – eine Pilot Induced Oscillation war…

- Im Endanflug als Boeing 737-Kapitän flog ich unbeabsichtigt in die Wirbelschleppen eines vorausfliegenden A320 ein. Bei 25° Querlage schaltete ich den Autopilot aus und brauchte zwei Drittel des Vollausschlags der Querruder, um die Rollbewegung zu

Saab JAS 39 Gripen Crash Sequence des 6. Testflugs am 2. Februar 1989. Wie durch ein Wunder überlebte Testpilot Lars Rådeström. Vier Jahre später benutzte er den Schleudersitz beim Water Festival Crash über Stockholm. Beide PIO-Unfälle wurden durch Defizite in den Control Laws verursacht (Control Saturation, Rate Limiting).

stoppen. Aber dann begann ein Eiertanz mit großen Querlagen und Steuer-Ausschlägen links und rechts. Die Roll-PIO stoppte, nachdem ich die Steuersäule einfach in der Mittelstellung festhielt.

- Im Endanflug bei turbulentem Gewitterwetter in Tel Aviv kam es im Flug von Hand (Airbus A340-600) zu Rollbewegungen bis zu +– 20° Querlage, die ich mit dem Sidestick kaum stoppen konnte. Also sagte ich dem Copilot, ich würde den Sidestick einfach mal loslassen… Obwohl das Normal Law des A340 die Rollrate von alleine hätte stoppen müssen, ging der Eiertanz munter weiter. Daher stoppte ich die Bewegungen wieder mit dem Sidestick. In 300 Fuß fing das Ganze wieder an und wir mussten durchstarten. Der Flug endete nach einem weiteren Go-around wegen Rückenwind mit einer Reise zum Ausweichflughafen.

Manche Pilot Induced Oscillations lassen sich also stoppen, wenn man den Stick oder die Steuersäule einfach mal festhält, damit sich das Flugzeug auf seine Eigenstabilität besinnen kann. Solche Versuche sollte man aber besser nicht in Bodennähe machen, wenn die Nase nach unten zeigt. Hier ist der Go-around die angemessene Reaktion.

Control Saturation – Position Limiting

Ich möchte mich nun wieder dem Superjet-Unfall annähern und wie oben versprochen zwei Phänomene beispielhaft erklären, die bei Fly-by-Wire-Control-Systemen vorkommen können: Position Limiting und Rate Limiting. Beide spielten eine Rolle beim Absturz des Gripen Prototypen 1989 und dem Water Festival Crash von 1993. In beiden Fällen wurden nachträglich die Control Laws des Flugzeug geändert. Beim Superjet-Unfall spielte Rate Limiting eine Rolle.

An Hand einer außergewöhnlichen Landung mit dem Airbus A340 möchte ich das „Position Limiting“ vorstellen:
Alle A340 Piloten, die ich den Jahren nach dem Zwischenfall befragt habe, glauben, dass beim Abfangen zur Landung der volle Höhenruder-Ausschlag zur Verfügung steht. Das liegt daran, dass sich das Airbus-Handbuch des A340 zum Flare Mode nur in wenigen Sätzen – unvollständig – äußert:

> *„A340-300 Flare Mode:*
> *When the aircraft passes 100 ft RA, the THS[7] is frozen and the normal flight mode changes to flare mode as the aircraft descends to land. Flare mode is essentially a direct stick-to-elevator relationship (with some damping provided by the load factor and the pitch rate feedbacks). At 50 ft, a slight pitch down elevator order is applied. Consequently, to flare the aircraft, a gentle nose-up action by the pilot is required.“*

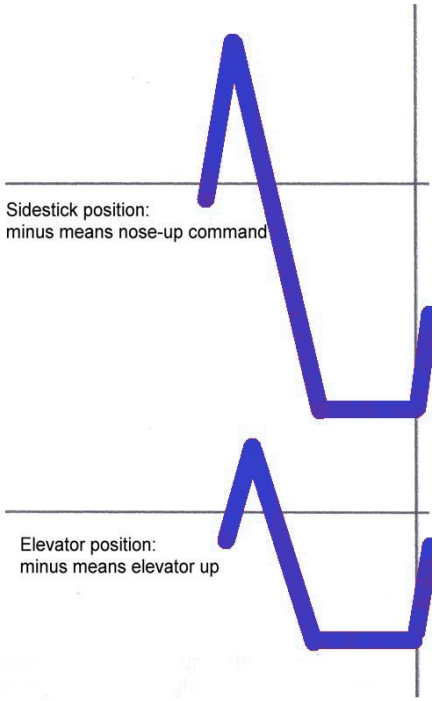
Die „direct stick-to-elevator relationship“ zeigt sich den Piloten ja auch am Boden bei jedem Flight Control Check. Dabei ist zu sehen, wie die Höhenruder den Sidestick-Ausschlägen jeweils bis in die Endausschläge folgen. Wie meine Kollegen auch hatte ich bis zu dem Vorfall das mentale Modell, die Höhenruder ständen zur Landung bis zum Vollausschlag zur Verfügung. Und dann kam das hier:

7) THS - Trimmable Horizontal Stabilizer

Als ich nach einem ILS-Anflug den Sidestick zog, um die Nase zur Landung hochzunehmen, passierte gar nichts! Ich zog den Sidestick durch bis in den Endausschlag – ohne sichtbaren Erfolg… Go-around? Oder die Kontrolle an den Copiloten übergeben? Die Übergabe schloss ich aus, weil der Copilot dann den Take-Over Button drücken würde. Das würde meinen Nose-Up Input aufheben, die Elevators würden zurückfahren und es würde erst recht eine harte Landung geben. Einen Go-around zu fliegen habe ich mich wegen Zweifeln an der Steuerung nicht getraut. Also setzte der Flieger ziemlich fest auf, aber nicht so hart, wie ich befürchtet hatte.[8]

Ich besprach die Situation mit den Copiloten. Es gab drei Erklärungsmöglichkeiten: „Pilot Error“, Wettereinfluss oder ein Problem mit der Steuerung. Um das herauszufinden, beantragten wir die Auswertung des Flight Recorders. Die Auswertung wurde vorgenommen. Die Daten wurden auch an Airbus übermittelt, weil ich Zweifel an der Steuerung geäußert hatte. In der Antwort meinte Airbus, die Steuerung habe einwandfrei funktioniert, die Elevators wären genau dem Sidestick gefolgt. Die in meinen Augen alarmierend geringe Pitch-up Rate von nur 0,5 °/s wurde erwähnt, aber nicht kommentiert. Der Flightrecorder Graph sah so aus wie in der rechten Spalte abgebildet.

Erst nach dem Vergleich mit den Flugschreiberdaten, die nach dem Aufsetzen aufgezeichnet wurden, konnte man ausrechnen, dass mit einem Vollausschlag des Sidesticks Richtung Nose-up, der Höhenruderausschlag bei diesem Flug auf etwa 56 % des Vollausschlags begrenzt war. Dieses „Position Limiting“ der Höhenruder im Flare ist in der Beschreibung des Flare Laws nicht enthalten. Ich fand an anderer Stelle der Beschreibung des Direct Law, dass im Flug der Höhenruderausschlag entsprechend der aktuellen Schwerpunktlage limitiert wird.



A340 Sidestick-Vollausschlag bei der Landung: Die Höhenruder folgen exakt dem Sidestick. Wie weit sie aber ausschlagen, kann man hier nicht erkennen.

Warum limitiert ein Hersteller den Höhenruderausschlag? Das ist einfach zu erklären. Bei konventioneller Steuerung muss die Dimensionierung des Höhenruders genau berechnet werden, damit für alle Flugsituationen bei Vollausschlag genügend Kontrolle verfügbar ist. Das führt für den normalen Flug zu einer Überdimensionierung des Höhenruders. Die „konventionellen“ Piloten müssen lernen, damit umzugehen, und müs-

8) Die Flightrecorder-Auswertung ergab, dass der Vollausschlag - der mir wie eine Ewigkeit vorgekommen war - nur eine halbe Sekunde gedauert hatte.

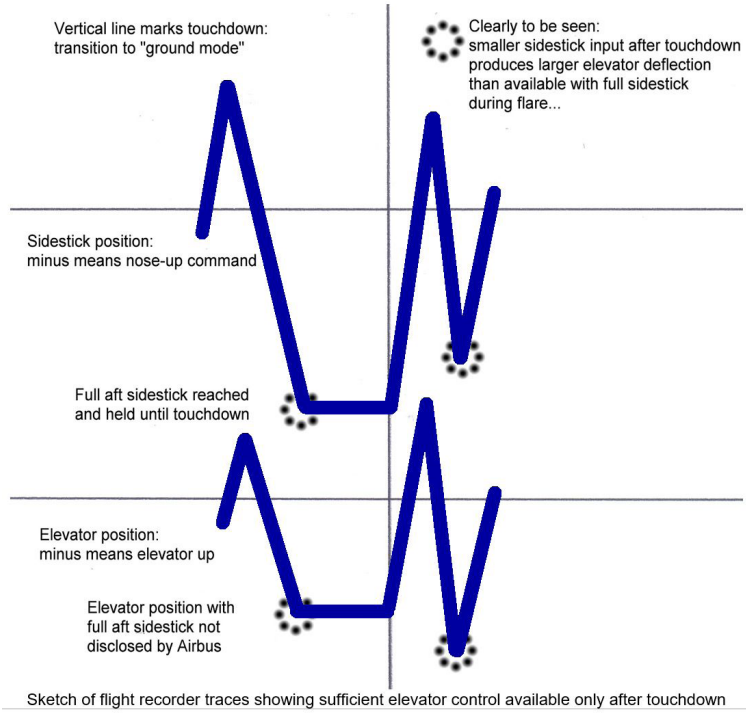
sen wissen, dass Vollausschläge – zum Beispiel im Flare – keine gute Idee sind. Ignorieren Piloten dieses Wissen, kann dies z.B. zu einem „Tail Strike“, zu hohen Pitch-Raten oder gar zu PIO führen.

Bei Fly-by-Wire-Flugzeugen sind die Höhenruder für den normalen Betrieb ebenfalls überdimensioniert. Hier aber bieten sich die Control Laws an, den Flieger so zu programmieren, dass je nach Flugphase und Schwerpunktlage der Höhenruderausschlag limitiert ist. Das führt zu konsistenterem Steuerverhalten, egal wie z.B. die Schwerpunktlage ist. Eine gute Idee. Dumm nur, dass die Piloten das nicht wissen. Mit diesem Wissen wäre ich einfach einen Go-around geflogen und hätte nochmal neu angefangen.

Ich hatte vorgeschlagen, die Informationen im Handbuch zu verbessern. Aber wenn man an dem sehr dicken Airbus-Baum schüttelt, fallen nicht automatisch schöne Früchte runter. So kommt es, dass bis heute dieses Verhalten der Steuerung unter den Piloten unbekannt ist, manchmal zu Überraschungen im Flare führt, und wahrscheinlich für manche harte Landung verantwortlich ist.

Übrigens hat sich mangels Wissen über das Höhenruder-„Position Limiting“ beim A340 eine Art Pseudo-Erklärung in Piloteninformationen zum Flugzeug etabliert: Ausführlich wird das enorme Pitch-Moment der unten hängenden Triebwerke beschrieben, die beim Gas-Rausziehen ein Pitch-down-Moment erzeugen. Ganz so, als gehörten die Triebwerke zu den Primary Flight Controls um die Pitch Achse. Diese Funktion hat allerdings das Höhenruder, das eigentlich immer ausreichendes Pitching-Moment erzeugen sollte.

Wie kam es aber zu dem seltenen Höhenruder-Vollausschlag? Das ließ sich im Nachhinein leicht erklären: Im kurzen Endanflug durchflogen wir ein Aufwindfeld, dass einen Sidestick-Ausschlag nach vorne erforderte, um auf dem Gli-



Der senkrechte Strich markiert das Aufsetzen: Rechts davon sieht man, dass am Boden mit kleinerem Sidestick-Ausschlag größere Höhenruderausschläge erreicht werden als in der Luft mit Vollausschlag.

deslope zu bleiben. Wegen des Ruderausschlags lief der Trim automatisch nach vorne, stoppte aber – designgemäß – in 100 Fuß. Das Flugzeug war nun nose-down vertrimmt, ohne dass das am Sidestick zu fühlen war. Die Flight Laws glichen das mit einem automatischen Höhenruder-Ausschlag nach oben aus, der nun für die Landung fehlte. Nun zog ich zu allem Überfluss noch schlagartig die Schubhebel auf Leerlauf, bevor ich die Nase hochnehmen wollte – ganz so, wie man eine Boeing 737 landet.
Es waren also von den oben genannten drei möglichen Ursachen alle drei beteiligt, die zum Vollausschlag des Sidestick führten: Pilotenverhalten (737 Landetechnik), Windeinfluss (updraft > Trim nach vorne) und Design (Trim Freeze, Position Limiting).
Nach dem Zwischenfall – zu Anfang meiner A340-Zeit – habe ich meine Landetechnik verändert. Seit ich die Schubhebel erst zurückziehe, nachdem ich den Flare mit dem Sidestick eingeleitet habe, ist das ungewöhnliche Verhalten der Steuerung nicht wieder aufgetaucht.
Später berichtete mir ein A320-Pilot, dass dort anfangs umgeschulte 737-Kapitäne gelegentlich harte Landungen produziert haben – sie hatten auf dem A320 dieselbe Landetechnik wie auf der 737 probiert…

Position Limiting von Flight Controls bei Fly-by-Wire-Flugzeugen ist ein wichtiges Tool, um eine ausgewogene Steuerung zu erreichen. Es ist auch eine Maßnahme, PIO zu verhindern. Unverständlich ist allerdings die spartanische Informationspolitik – Weglassen von Informationen – von manchen Flugzeugherstellern. Damit wird eine effektive Arbeit im Cockpit in einigen Situationen erschwert.

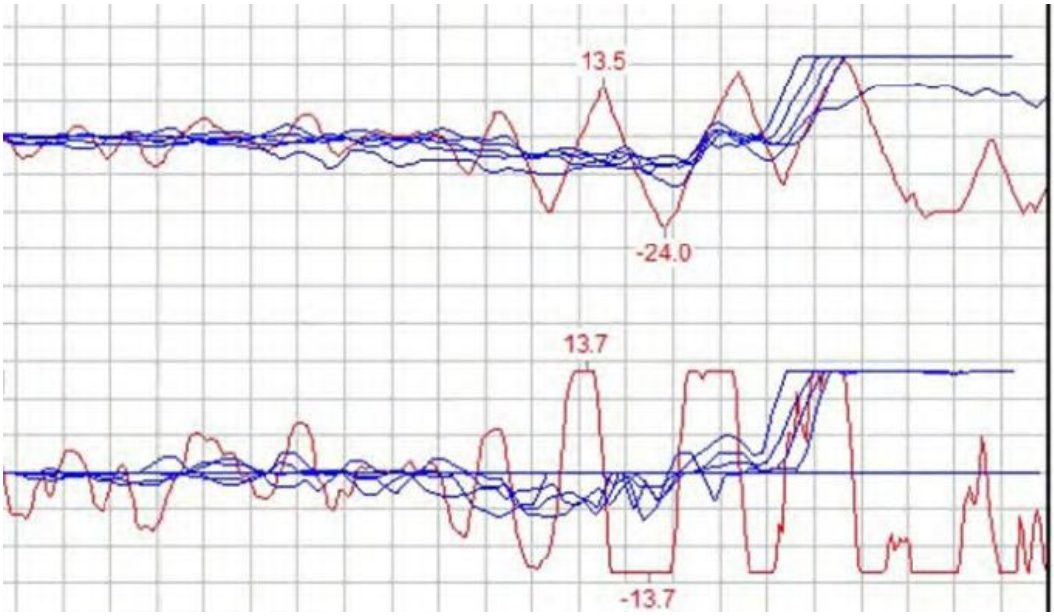
Aus dem Vorfall lässt sich für Fly-by-Wire-Flugzeuge folgender Sicherheitshinweis extrahieren, der so zwar ab und zu veröffentlicht wurde, aber ohne Erklärung der Hintergründe:
Bei einem Fly-by-Wire-Flugzeug ist es noch viel wichtiger als bei einem konventionellen Flugzeug, einen stabilisierten Endanflug zu machen. Die Position des Sidesticks zu Beginn des Flare lässt keinerlei Rückschlüsse darauf zu, wie viel Elevator man noch zum Abfangen hat. Die Möglichkeit abzufangen kann – dank automatischen Misstrim und Position Limiting – deutlich eingeschränkt sein.

Control Saturation – Rate Limiting

Kommen wir nun zurück zum Superjet-Unfall in Moskau und betrachten die Steuerinputs des Kapitäns: Wie im ersten Teil des Artikels beschrieben, hatte der Kapitän große Schwierigkeiten, das Flugzeug im Direct Mode von Hand zu fliegen. Er hat es selbst bemerkt. Zu seinen Höhenabweichungen in dem Vollkreis vor dem Endanflug hört man auf dem Cockpit Voice Recorder seine Stimme:

„How come… plus-minus 200 feet“

Die Querlage entgleist ihm einmal bis 40° Bank.
Die Unfallermittler haben sich wegen der hohen Sidestickausschläge des Kapitäns unmittelbar nach dem Autocallout „Direct Mode! Direct Mode!“ die Flugschreiberdaten anderer Flüge besorgt, die dieser Kapitän geflogen ist. Dann hat man die Sidestick-Ak-



Ausschnitt aus den Flugschreiberdaten des PIC im kurzen Endanflug und zur Landung. Oben: Höhenruder-Position. Unten: Sidestick-Position. Blau: vorherige Flüge. Braun: Unfallflug MAK]

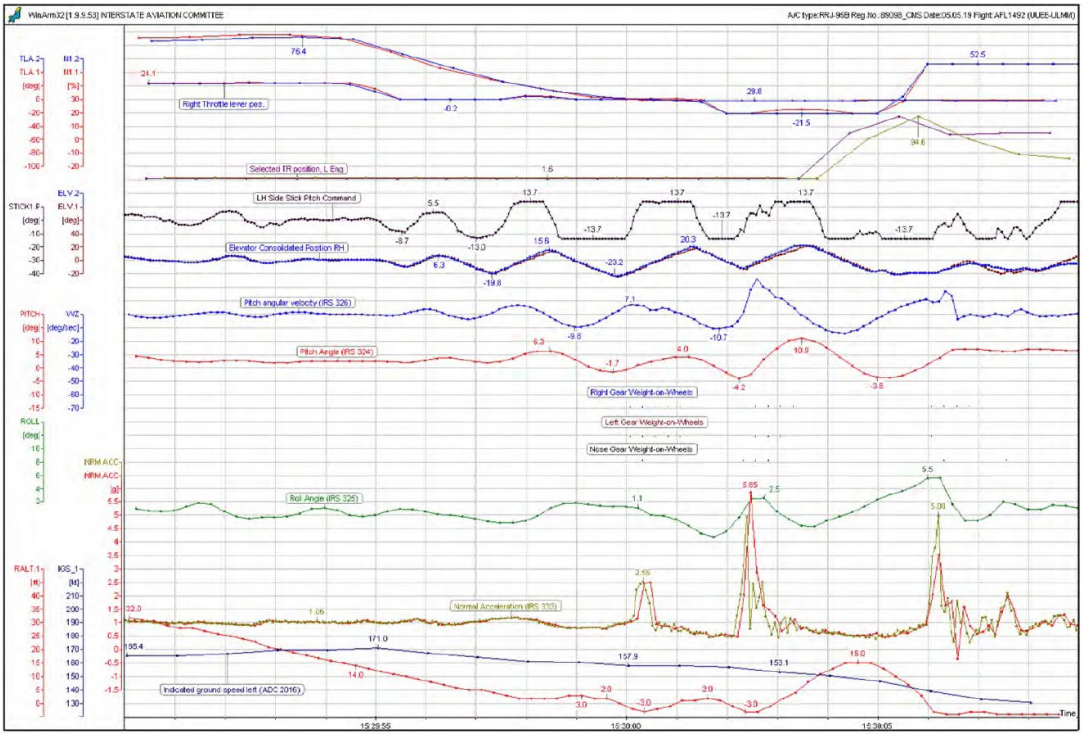
tivität des Unfallflugs mit denen seiner normalen Anflüge verglichen. Niemals zuvor hatte der Kapitän im normalen Flugbetrieb so große Ausschläge gemacht.

Man hat auch die Flightrecorder-Daten der anderen acht Superjet-Flüge ausgewertet, die nach Fehlern in den Flight Controls im Direct Mode beendet wurden. Auch in diesen Aufzeichnungen fand man ungewöhnlich große Sidestick Ausschläge. Damals war das nicht aufgefallen, weil es nach den – normalen – Landungen keine Notwendigkeit zur Auswertung der Sidestick-Position gegeben hatte.

Das Interstate Aviation Committee hat noch keine Erklärung für die hohen Ausschläge, aber es scheint offensichtlich am anderen Steuerverhalten des Flugzeugs im Direct Mode zu liegen. Aus den Aufzeichnungen des Flight Recorders des Unfallflugs für das Abfangmanöver und die missglückte Landung geht hervor, dass die Höhenruder im Rate-Limit liefen, die Steuerung also „gesättigt“ war.

Ich habe weiter oben die Flugschreiber-Daten zu meinem A340-Zwischenfall gezeigt. Unter anderem auch deshalb, weil ich das „normale“ Verhalten der Höhenruder im Flare Law (bei Airbus) zeigen wollte: Die Höhenruder folgen exakt und unmittelbar dem Sidestick-Ausschlag. Auch wenn wie beschrieben der Endausschlag limitiert ist. Geht also der Sidestick nach vorne, geht das Höhenruder sofort nach unten – und umgekehrt. Der Pilot sieht entsprechend immer eine passende Reaktion des Flugzeugs: Stick ziehen, Nase kommt hoch.

Gerät man jedoch bei einem langsamen Flight-Control-System – und so sah es wohl



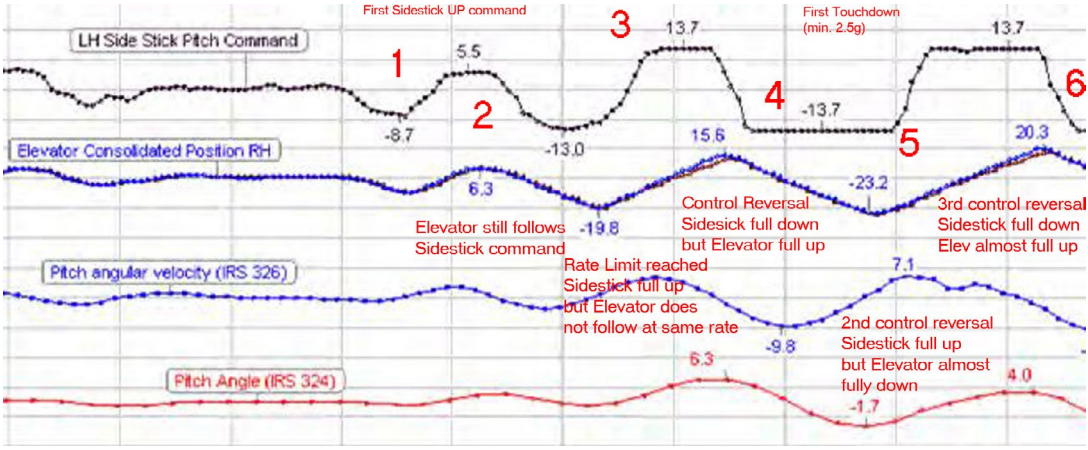
Die Flugschreiberdaten der letzten 19 Sekunden bis zum Ende der Aufzeichnungen, beginnend in 32 Fuß Radarhöhe.
MAK Zwischenbericht

bei dem Unfallflug aus – durch schnelle, wechselnde Stick-Ausschläge ins „Rate Limiting“, verliert man in Sekundenbruchteilen die Kontrolle und findet sich in einer PIO wieder. Ich möchte das an den Sidestick- und Höhenruderpositionen der ersten drei Sidestick-Reversals des Kapitäns zum Abfangen zeigen. (Es ist mir fast ein wenig unheimlich, das so „aufgeklärt“ zu beschreiben und gleichzeitig zu wissen, dass der Kapitän des Fluges selbst keinerlei Chancen hatte, im Cockpit diese Zusammenhänge zu erkennen).

Bitte sehen Sie sich die Flugschreiber-Graphen an den Nummer 1 bis 6 an:

Chronologie des Kontrollverlusts:

1. Erster Sidestick-Input zum Flare in 17 Fuß: 65 % des Vollausschlags gezogen.
2. Noch folgen die Höhenruder einigermaßen dem Sidestick-Input auf und ab.
3. Schneller Sidestick-Input „full-up“. Die Höhenruder können nicht schnell genug folgen und laufen im Rate-Limit hinterher.
4. Erster Control Reversal: Nach schnellem Sidestick „full down“ sind die Höhenruder immer noch „full up“ und laufen im Rate-Limit hinterher.
5. Zweiter Control Reversal beim Touchdown mit full Nose-down-Sidestick (min. 2,5 g): Pilot zieht den Sidestick



Flugschreiber-Daten des Superjets. Die senkrechten Striche sind Zeitmarken im Abstand von je einer Sekunde.
Graphen: MAK, Anmerkungen: Autor

„full up“, die Höhenruder sind aber noch „nose down“.

6. Wie Punkt 4: Drittes Control Reversal: Nach schnellem Sidestick „full down“ Input sind die Höhenruder immer noch „full up“ und laufen im Rate-Limit hinterher.

Die Flugschreiber-Daten zeigen, dass der Pilot nach nur drei Sidestick-Ausschlägen (ziehen, drücken, ziehen) um 180 Grad aus dem Control Loop raus war. Er hatte also bereits zwei Sekunden vor dem ersten Aufschlag die Kontrolle über die Pitch verloren: Mit Sidestick voll nach vorne kam die Nase hoch, mit Sidestick voll nach hinten fiel die Nase runter. Sensorisch für einen Piloten ein absolut dramatisches, unfassbares Ereignis. Eine PIO war also bereits im vollen Gange, als die Maschine erstmals aufsetzte.

Die Untersuchungskommission des Saab JAS39-Absturzes über Stockholm 1993 (ebenfalls rate limiting) hatte das Erleben des Piloten so formuliert: „He no longer recognized the aircraft‘s behaviour.“ Der schwedische Testpilot betätigte damals sofort den Schleudersitz, eine Option, die dem Superjet Kapitän nicht zur Verfügung stand.

Es ist noch nicht bekannt, ob das beobachtete Rate Limit für den Superjet im Direct Mode „normal“ ist. Die Daten wurden an den Hersteller Sukhoi zu weiterer Analyse weitergereicht. Auch sollen umfangreiche Simulatortests gemacht werden. Dabei muss man allerdings wissen, dass Simulator Ergebnisse – was Pilot Induced Oscillation angeht – nicht unbedingt aussagekräftig sind. So mancher Testpilot musste das bei der Entwicklung neuer Typen schmerzlich erfahren: Auch wenn Simulatortests vor dem Testflug erfolgreich verliefen, passierte es ab und zu, dass die neuen Flugzeuge trotzdem in PIO Situationen kamen.

Was bedeutet „Fly Smoothly“ – oder bei Airbus „Maneuver with Care“?

Die meisten Piloten fliegen eigentlich immer „smoothly“, also „sanft“ oder „weich“, aber dieser Hinweis soll wahrscheinlich klarma-

chen, dass es mit diesem Fehler wirklich angesagt ist, das Flugzeug nicht ruppig zu behandeln. Wie ich im ersten Teil des Artikels beschrieben habe, hat der Copilot des Superjet unter erheblichem Zeitdruck die QRH Checkliste F/CTL DIRECT MODE in weniger als 90 Sekunden runtergerattert. Es ist fraglich, ob die Piloten so überhaupt in der Lage waren, die Informationen aus der Checkliste zu verstehen und aufzunehmen. Dass die Auto-Speedbrake nicht funktioniert, hatten sie jedenfalls schon wenige Minuten später vergessen. Es ist zu vermuten, dass es mit dem Passus „Fly Smoothly“ ähnlich war.
„Fly Smoothly“ kann man so verstehen, dass man die Steuerung nur sanft und vorsichtig betätigt, man also wesentlich vorausschauender und „defensiver“ fliegen muss als sonst. Abrupte Manöver müssen im Direct Mode/Law unbedingt verhindert werden, dazu gehören schnelle Sidestick-Bewegungen und ein hartes Abfangen zur Landung. Eine lange Landebahn und vor allem ruhiges Wetter sind für diesen Systemzustand hilfreich. Ein Anflug bei Gewitterwetterlage wie an jenem 5. Mai war sicher nicht die beste Idee für „Fly Smoothly“.

Man kann den Superjet-Piloten nicht zum Vorwurf machen, nicht gewusst zu haben, was „Fly Smoothly“ eigentlich bedeutet. Auch bei Airbus gibt es keinerlei Detailbeschreibung zum Steuerverhalten im Direct Law. Nur dass es bei Airbus statt „Fly Smoothly“ „Maneuver with Care“ in der Checkliste heißt. Dazu habe ich im Simulator schon gehört: „Machen wir doch immer, oder?“ Der Passus wird also weder verstanden noch erklärt – und auch nicht trainiert. Die Trainingskapitäne haben dazu kein „Geheimwissen“.

Piloten sind gewohnt, nach Limits und Zahlen zu fliegen. Mit „Max Speed 280 kts/ Mach 0,8“ oder mit „Flaps 3 for Landing“ weiß jeder Flieger, was gemeint ist. Aber bei „Maneuver with Care“?
Der Passus in der Checkliste DIRECT LAW erinnert mich jedes Mal an die guten Wünsche meiner (damals) kleinen Kinder zum Abschied: „Papa, flieg‘ vorsichtig!“. Auch da habe ich mich immer gefragt: Gibt es Piloten, die unvorsichtig fliegen? Aus diesem Grund konnte ich bis zur Beschäftigung mit dem Superjet-Unfall den Passus „Maneuver with Care“ immer nur als Airbus-Wunsch „Papa, flieg vorsichtig“ verstehen.
Ganz so, wie uns ein Flugbetriebsmanager bei der Einführung auf dem A380 gesagt hat: „Macht nichts kaputt, ich will nichts in der Zeitung lesen.“ Den eigentlichen Sinn der Airbus-Anweisung habe ich nie begriffen. Er wird nirgends erklärt.

Fehlende Dokumentation und das Zurückhalten von Informationen

Die fehlenden Informationen zum MCAS im Pilot Manual haben bei den Boeing 737 MAX-Unfällen eine wichtige Rolle gespielt. Auch andere Hersteller wie Saab, Sukhoi oder Airbus halten Informationen für die Piloten zurück. Die Manuals sind zum Teil sehr rudimentär. Warum wird das gemacht? Ich vermute, dass das auch mit dem fehlenden Verständnis zwischen den Berufsgruppen der Piloten und der Ingenieure zu tun hat. Erinnern Sie sich noch an die oben abgebildete komplizierte Formel? Kein Pilot versteht so was, muss er auch nicht. Also denken sich

manche Ingenieure und Manager: „Das ist viel zu kompliziert für Piloten. Das kapieren die eh nicht. Die sollen sich vorne reinsetzten und einfach fliegen."
Es wird dabei aber verkannt, dass Piloten Hintergrundwissen benötigen, wie das Flugzeug wirklich funktioniert. Nur so lassen sich in kritischen Situationen die richtigen Entscheidungen treffen. Nehmen wir als Beispiel die Saab JAS 39 Gripen: Nach dem Absturz des Prototypen 1989 hatte sich gezeigt, dass die Steuerung – es war windig – viel zu sensibel reagierte. Die Software wurde ein erstes Mal verändert.
Nach dem zweiten Absturz des Testpiloten Lars Rådeström in einer Saab JAS Gripen 1993 über Stockholm enthielt der erste Zwischenbericht u.a. folgende Feststellung:

> *„The manufacturer and customer[9] knew that large and rapid stick movements could cause divergent Pilot Induced Oscillations, but considered the likelyhood of it actually happening insignificant, so all pilots weren't informed."*

Der Glaube, eine Information sei für andere „nicht wichtig", ist leider in der Luftfahrt verbreitet. So erinnere ich mich, dass ich als A310-Copilot einmal gemeldet hatte, dass eine bestimmte Eingabe im FMS das komplette Navigationssystem des A310 mit FMS- und NAV-Displays auf beiden Seiten für den Rest des Fluges zum Absturz bringen kann. Die Meldung wurde als „operationell nicht signifikant" abgetan und nicht weiter verfolgt. Kein Wunder also, dass ich einige Zeit später erfahren habe, dass nach solch einer Eingabe über dem Meer auf dem Flug von Saudi Arabien nach Karatschi, Pakistan die komplette Navigation in einem A310 ausgefallen war. Die Piloten mussten wie Lindbergh mit Papierkarte und Kompass weiterfliegen… Ich bin sicher, der Software-Bug steckt heute noch in jedem A310-Oldtimer, der noch fliegt.

9) „Customer" war die Schwedische Luftwaffe

Training für Fehler in den Flight Controls

Dem Superjet-Kapitän wurde in der Presse sehr schnell vorgeworfen, er sei vorher „nie" im Direct Mode gelandet. Das ist in diesem Zusammenhang Unsinn, denn es trifft auf nahezu alle Piloten von Fly-by-Wire-Flugzeugen zu, mich inbegriffen. Der Fehler ist extrem selten und wird nur im Simulator trainiert. Das Interstate Aviation Committee hat dazu festgestellt, dass der Kapitän sehr wohl bei seiner Schulung auf den Superjet im Simulator mit dem Direct Mode vertraut gemacht wurde. Der Fehler gehört zur Grundschulung auf dem Superjet, wie auch auf allen Airbus Flugzeugen. Es gibt aber ein Problem. Das Fliegen im Direct Law im Simulator dient hauptsächlich zum Vertrautmachen der dazugehörigen, mitunter komplizierten Verfahren und Checklisten. Es ist nicht dazu gedacht, die Crews fit zu machen im manuellen Fliegen im Direct Mode/Law. Dafür wäre viel öfter Training im Simulator nötig.
Beim A380 zum Beispiel kommt nach der Umschulung das Fliegen im Direct Law nur noch selten im Simulator vor. Und wenn, dann im Zusammenhang mit den wenigen gravierenden Fehlern, die das Flugzeug ins Direct Law zwingen. Dazu gehört z.B. die Emergency Electrical Configuration, in die man u.a. bei Feuer an Bord kommen kann, oder aber die gefährliche „Unreliable Airspeed"-Situation. Das manuelle Fliegen

selbst und die Landung im Direct Law sind in diesen Szenarien nur Nebenerscheinungen.

Was kann also ein Pilot machen, wenn er sich wie der Superjet-Kapitän im Direct Mode/Law wiederfindet – und dann feststellt, dass sich das Flugzeug „anders“ verhält als gewohnt?

Er kann sich eine menschliche Eigenschaft zunutze machen, die einen Piloten jedem Flight-Control-Computer überlegen macht: Er kann schnell lernen. Eine NASA Studie schreibt dazu:[10]

> *„[His] repertory of behavior is so extensive that the pilot, as a learning and adaptive controller operating with an extensive array of endogenous sensing mechanisms, has capabilities which far exceed those of the most sophisticated unmanned control system.“*

Keiner hat das besser demonstriert als der kürzlich verstorbene Kapitän Alfred C. Haynes. Haynes gelang es am 19. Juli 1989 mithilfe seiner Crew eine nach Triebwerksausfall steuerlose DC-10 in Sioux City zu landen. Die Crew benutzte ausschließlich die Triebwerke zur Steuerung. So konnten wenigstens 185 der Insassen gerettet werden.

Um ein Flugzeug mit Flight-Control-Problemen sicher zu landen, sollte man sich Zeit nehmen und vorher in der Luft in Ruhe das Handling erfliegen. Die Zeit dazu hätte auch die Superjet-Crew gehabt. Wie auf einem neuen Flugzeugmuster kann sich ein Pilot recht schnell auf neues Steuerverhalten einfliegen. Hilfreich ist dabei ausreichend manuelles Fliegen im normalen Flugbetrieb, wie es z.B. in unserem Unternehmen gefordert und gefördert wird. Auch Piloten, die privat viel von Hand fliegen, lernen schneller.

Diese Strategie des Übens in der Luft hilft auch Piloten der Allgemeinen Luftfahrt, die sich z.B. mit verklemmten Landeklappen oder teilweise blockierter Steuerung herumschlagen müssen.

Anklage vor Gericht

Im Oktober kam diese Meldung in der Presse:

> *„Pilot of Aeroflot Superjet charged over fatal crash“*

Die russische Staatsanwaltschaft hat sich des Falls angenommen und klagt den Kapitän wegen dem Tod von „mehr als zwei“ Personen an. Im Gegensatz zur Staatsanwaltschaft führen die Unfalluntersucher des Interstate Aviation Committee ausschließlich

Aircraft was hit by lightning and made a hard landing at Moscow

INQUIRY DAVID KAMINSKI-MORROW LONDON

Pilot of Aeroflot Superjet charged over fatal crash

LEGAL DAVID KAMINSKI-MORROW LONDON

AF447 indictment plans dismay French flightcrew

French pilots have reacted with dismay over a legal recommendation to indict Air France, but not Airbus, over the fatal crash of an A330-200 a decade ago.

Air France flight AF447 came down in the Atlantic Ocean after its crew reacted incorrectly to unreliable airspeed indications caused by pitot sensor icing, resulting in a stall that went unrecognised and unaddressed.

The airline is being pursued, says French cockpit union SNPL, for allegedly not providing sufficient information to crews about prior incident involving pilot losses, and the risks of a possible high-altitude stall.

SNPL has expressed "outrage" at the recommendation, which it ascribes as an "incomprehensible" indictment, arguing that Air-

A330-200 was lost over Atlantic in 2009 after an unaddressed stall

bus should be facing similar charges – but that the airframer is being exonerated because its aircraft was cleared by regulatory authorities.

"It's as if Boeing was cleared of any responsibility in the [Lion Air and Ethiopian Airlines] 737 Max accidents, on the grounds that [US regulators] had certified the aircraft," the union says.

SNPL claims that, while the A330 was certificated by air safety authorities, part of this process would have been delegated to Airbus. The legal decision has reignited a smouldering row between Air France and SNPL, on one hand, and Airbus on the other, over the circumstances of the 1 June 2009 accident involving the Rio de Janeiro-Paris flight.

This dispute has centred on whether the accident was primarily the result of inadequate pilot training and competence or attributable to weaknesses in the A330's flight-control and warning system design.

"Absence of one of the main protagonists will leave only questions unanswered," says SNPL vice-president Vincent Gilles. He also claims that regulatory authorities have not been subject to interrogation during the procedure. ■

Flight International | 30 July-5 August 2019

Katastrophen in der Luftfahrt ziehen jahrelange Prozesse nach sich. Während die russische Staatsanwaltschaft diesen Oktober Anklage gegen den Superjet-Kapitän erhoben hat, wird über den Air France Absturz über den Atlantik (2009) immer noch heftig gestritten … Flight International

10) Pilot-Induced Oscillations and Human Dynamic Behavior, NASA 1995

Ermittlungen durch, die nach den Vorgaben der ICAO die Flugsicherheit erhöhen sollen. Es wird nach Ursachen gesucht, nicht nach Schuldigen. Damit dieser Prozess nicht gestört wird, schreibt die ICAO vor[11], dass Untersuchungsergebnisse nicht für die Strafverfolgung herausgeben werden dürfen, wenn damit u.a. die Aufklärung zukünftiger Unfälle gefährdet wird (Russland ist Mitglied der ICAO). Das wäre z.B. dann der Fall, wenn Zeugen aus Angst vor Strafverfolgung nicht mehr aussagen.

Nach meiner Ansicht stört die Anklage des Kapitäns nicht nur die Aufklärung zukünftiger Unfälle, sondern bereits heute die vollständige Aufklärung des Superjets-Unfalls selbst. Denn die Unfallermittlungen sind noch in vollem Gange. Viele Aspekte, wie das Training bei Aeroflot und die Rolle des Herstellers Sukhoi, sind noch ungeklärt. Es wäre bedauerlich, wenn man sich vor Gericht auf den Kapitän einschießt und darüber die Beseitigung der Unfallursachen in Training, Management, Manuals und Design in den Hintergrund treten würden.

Die Anklage gegen den Kapitän wird nicht der einzige Prozess bleiben. Schadenersatzprozesse werden folgen, wie das auch bei anderen Flugzeugkatastrophen der Fall war. Abgesehen vom Leid der Angehörigen und Überlebenden wird es bald um Geld, und zwar um Millionen gehen. Und wie wir bei der 737 MAX sehen, manchmal auch um Milliardenbeträge.

Fazit

Der Unfall des Superjets in Moskau-Sheremetyevo hat wieder deutlich gezeigt, dass

AIR TRANSPORT

ACCIDENT ELLIS TAYLOR SINGAPORE

Air Niugini crew ignored 'pull up' alerts

Captain lost situational awareness and was not challenged by co-pilot before undershoot at Chuuk, inquiry concludes

A fixation on landing led the captain of an Air Niugini Boeing 737-800 (P2-PXB) that undershot at Chuuk to ignore several automated warnings that the aircraft was below the glideslope and had an excessive sink rate, investigators have determined.

In its final report into the 28 September 2018 accident, in which one passenger died, Papua New Guinea's Accident Investigation Commission (AIC) concludes that the pilot in command persisted with an unstable approach in contravention of the airline's standard operating procedures.

"The pilots' actions and statements indicated that they had lost situational awareness from 6258 on the approach and their attention had become channelised and fixated on completing the approach and landing the aircraft," says the AIC.

It notes that the pilots failed to respond to 16 aural alerts from

One occupant died after 737 hit lagoon 460m short of runway 04

for the last 30s of the flight due to encountering a small storm cell.

The report notes that under Air Niugini's operating procedures, the co-pilot should have intervened earlier.

TARDY RESPONSE

460m (1,500ft) short of the runway 04 threshold, deflecting across the water several times and turning clockwise before coming to rest partially submerged.

A total of 46 occupants were evacuated from the aircraft, in-

was retrieved three days later by local divers.

The AIC makes 12 recommendations to Air Niugini, mostly relating to training around evacuations, safety placards and other deficiencies, which have since been addressed.

However, a recommendation to Honeywell that the EGPWS be upgraded to include a continuous "pull up" aural and primary flight display warning to replace the "sink rate" warning below 500ft radio altitude remains open.

Discussions are continuing with the US Federal Aviation Administration, National Transportation Safety Bureau (NTSB) and the manufacturer over the matter, it adds.

CONTRARIAN VIEW

Perhaps tellingly, however, the AIC report includes a dissenting view from the US investigation

Ein gefährlicher Trend: Immer häufiger werden Warnungen missachtet. Der Kapitän dieser Air Niugini 737 ignorierte im Anflug 16 EGPWS Warnungen, ohne dass der Copilot eingriff. Das Flugzeug stürzte vor der Bahn ins Meer.
Flight International

es auf jedes Detail ankommt, wenn man Fliegen sicher betreiben will. Vermeintlich clevere Einsparungen beim Design und beim Training führen nur kurzfristig zur Gewinnmaximierung. Ein Flugunfall kann sie sich für Hersteller und Airlines schnell existenzbedrohend auswirken.

Um Unfälle wie den in Moskau zukünftig zu verhindern, bedarf es weiterer Anstrengungen, insbesondere im Training der Crews. Es darf einfach nicht passieren, dass ein einzelner Pilot ein Flugzeug in eine ausweglose Situation manövriert, ohne dass der „Pilot Monitoring" eingreift.

Das Nichtbeachten von Warnungen, wie Windshear- oder Glideslope Warnungen ist neuerdings eine wiederkehrende Unfallursache. Dies muss in den Fokus gerückt und systematisch „abtrainiert" werden.

Noch mehr Crew-Resource-Management ist gefragt, die Position des Copiloten muss gestärkt werden. Auch der Copilot muss einen Go-around kommandieren können.

In unserem Unternehmen ist schon lange die Bedeutung des häufigen manuellen Fliegens

11) ICAO Annex 13 Accident Investigation, 5.12: Non-disclosure of records

für die Flugsicherheit wiederentdeckt worden. Andere Airlines haben da noch Nachholbedarf.
Eine Pilot Induced Oscillation ist eine seltene, gefährliche Erscheinung. Einmal in Gang gesetzt, hat sie schon zu schweren Unfällen geführt. Das beste Konzept gegen PIO bei der Landung ist es, die beitragenden Faktoren zu vermeiden. Und die wichtigsten Mittel zur Vermeidung einer PIO sind ein stabilisierter Anflug sowie ein konsequentes Durchstarten, wenn es mal nicht so läuft wie geplant.

PeterKlant@Lindbergh-aviation.de

Quellen und Literatur:

[1] A New Approach for the Validation of Potential Pilot Gain Measures; Ina Niewind, German Aerospace Center, Institute of Flight Systems, Flight Test Branch, Manching; https://aerospace-europe.eu/media/books/delft-0010.pdf

[2] Pilot-Induced Oscillations and Human Dynamic Behavior; NASA Contractor Report 4863, 1995; http://hdl.handle.net/2060/19960020960

[3] Prediction of Pilot-in-the-Loop Oscillations Due to Rate Saturation; By Holger Duda, DLR, German Aerospace Research Establishment; Journal of Guidance, Control and Dynamics, May-June 1997

[4] Pilot Induced Oscillation; Wikipedia; https://en.wikipedia.org/wiki/Pilot-induced_oscillation

[5] Artikel in SKYbrary https://www.skybrary.aero/index.php/Pilot_Induced_Oscillation

[6] Landing Problems: Bouncing, Porpoising; FAA Learning Center https://www.faasafety.gov/gslac/ALC/course_content.aspx?cID=34&sID=170&preview=true

[7] Why Are Porpoise Landings So Dangerous? “If not corrected you‘ll leave your nose gear and propeller shattered in pieces on the runway.” Blog von Boldmethod.com mit Video einer Piper Porpoise Landing https://www.boldmethod.com/blog/2014/01/the-danger-of-porpoise-landings/

[8] F-22 Raptor PIO Crash - Test Flight at USAF Edwards Air Force Base Youtube Video des Unfalls von 1992 https://www.youtube.com/watch?v=uvEo6q280x0

[9] Saab JAS 39 Gripen PIO Crash on 6th testflight, Pilot Lars Rådeström Linköping, 2. Feb. 1989 - Youtube Videos https://www.youtube.com/watch?v=6X-kXrVbNKo alternate view: https://www.youtube.com/watch?v=k6yVU_yYtEc

[10] Saab JAS 39 Gripen PIO crash, 8 August 1993, Stockholm, Pilot Lars Rådeström; Youtube video by SVT2 https://www.youtube.com/watch?v=DeYarZymRt4

[11] JAS 39 Gripen crash in Stockholm 1993 Aug 08 report summary By x-plane.org; https://www.x-plane.org/home/urf/aviation/text/gripcras.htm

[12] NTSB Report Reveals How Dale Earnhardt Jr.'s Plane Crashed; News Report: https://tasteofcountry.com/dale-earnhardt-jr-plane-crash-ntsb-report-cause-details/

[13] NTSB Interim Report: https://app.ntsb.gov/pdfgenerator/ReportGeneratorFile.ashx?EventID=20190815X74831&AKey=1&RType=Prelim&IType=FA

[14] 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

[15] Videos des Superjet Unfalls zu finden bei Avition Herald http://avherald.com/h?article=4c78f3e6/0007&opt=4096

[16] Accident: Niugini B738 at Chuuk on Sep 28th 2018, touched down in sea short of runway; Crew ignoriert 16 EGPWS Warnungen. Auch hier gerät der Kapitän in eine (Roll-) PIO. Visualization by Papua New Guinea Accident Investigation Commission https://www.youtube.com/watch?v=QgKASU1UMH8

Turboprop- und Jet-Training zu erträglichen Preisen

PA31T/42 Cheyenne, Piaggio P180 Avanti, C406/425 Conquest, C500/550 Citation, C501/551 Citation SP • Type Rating • Instructor • Auffrischung

Alle FCL-Checkflüge
Auch in Kombination mit US-Checks möglich

Kursangebot für unsere Muster:

- Type Rating TR(A) auch als initial Multiengine!
- Type Rating Instructor TRI(A) mit Teaching and Learning Modul
- Auffrischungskurse für TRI(A) gem. FCL.940.TRI(a)(1)(ii)
- Auffrischung zur Erneuerung der Musterberechtigung
- Training als Single- oder Multi-Crew MP/SP ops
- Landetraining nach Simulatorausbildung

Gerne auch auf Ihrem eigenen Flugzeug und mit Ihren SOPs!

Airwork Operations GmbH
Klosterwiesgasse 46
A-8010 Graz
AT.ATO.153
Kontakt: +43 316 396 839
ato@flugdienst.at
www.flugdienst.at