

Sascha Müller

Automatisierung im Airbus

Informationen zum Autor

Sascha Müller ist Studierender im Studiengang Aviation Business an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes in Saarbrücken. Mehr Informationen zum Studiengang finden Sie unter <https://www.wiin-aviation.de/aviation-business-saarbruecken/>.

Die Ausarbeitung entstand im Rahmen einer Lehrveranstaltung bei [Prof. Dr. Stefan Georg](#). Ergänzend zu seinem Engagement im Studiengang Aviation Business ist Prof. Dr. Georg auch in Studiengängen zur Betriebswirtschaftslehre und zum [Wirtschaftsingenieurwesen](#) tätig.

Dieser Text darf in unveränderter Form kostenfrei weitergegeben werden.

I. Inhaltsverzeichnis

I.	Inhaltsverzeichnis	
II.	Abbildungsverzeichnis	
1	Der Airbus als Vorreiter	1
2	Automatisierung im Airbus	2
2.1	Fly-by-Wire	2
2.2	Autotrim	3
2.3	Verhalten des Airbus in Grenzzuständen	4
2.3.1	Niedriggeschwindigkeit	4
2.3.2	Hochgeschwindigkeit	6
3	Vor- und Nachteile der Automatisierung	7
3.1	Vorteile der Automatisierung	7
3.2	Nachteile der Automatisierung	8
4	Beispiel für einen Zwischenfall	9
III.	Literaturverzeichnis	

II. **Abbildungsverzeichnis**

Abb.: 1 Geschwindigkeitsanzeige mit Grenzbereichen.....4

Abb.: 2 Geschwindigkeitsanzeige, Schutzfunktion mit und ohne Eingreifen6

1 Der Airbus als Vorreiter

40 Jahre nach dem Erstflug des [Airbus A320](#), der eine neue Ära in der Zivilluftfahrt einleitete, stellt sich die Frage, wie sich die Automatisierung bis heute entwickelt hat und ob sie den Piloten das Leben tatsächlich erleichtert. Seit der Einführung der A320 Familie als erster ziviler Flugzeugtyp mit elektronischer Steuerung und weitreichenden Schutzmechanismen hat sich einiges getan. Airbus entwickelt seine Computersysteme weiter, und auch andere Hersteller treiben die Automatisierung voran.¹

Im Folgenden werden die wesentlichen Funktionsweisen der Airbussysteme erklärt und die Punkte beschrieben, in denen sie sich im Automatisierungsgrad von Konkurrenzflugzeugen unterscheiden. Es werden einige Vor- und Nachteile dieser Art von Philosophie aufgezeigt und zum Ende ein Zwischenfall beleuchtet, der in seiner Ursache auf Fehlverhalten der Automatik zurückzuführen ist.

Die Airbus A320 Serie, die sich im Prinzip aus vier Flugzeugen zusammensetzt, welche sich im Wesentlichen nur durch eine unterschiedliche Rumpflänge und damit Kapazität unterscheiden, dienen hier als Beispiel. Die Steuereinheiten, die nachfolgend beschrieben werden, sind jedoch bei allen modernen Airbus-Flugzeugen in ihrem Layout und den Grundfunktionen weitgehend gleich.² Deshalb kann alles im Folgenden Beschriebene auch auf andere Modelle, die seit dem A320 entstanden, bezogen werden.

¹ vgl. Airbus Online Geschichtsverzeichnis

² vgl. Penner/Plath (1989), S.36.

2 Automatisierung im Airbus

2.1 Fly-by-Wire

Ein grundsätzliches Unterscheidungsmerkmal der modernen Airbus-Flotte seit Einführung der A320 Familie ist die Verwendung von Fly-by-Wire. Wie der Name nahelegt, handelt es sich hierbei um ein System, welches die Steuerung des Flugzeugs über elektrische Signale vornimmt und nicht wie bis dahin üblich über mechanische Verbindungen zwischen Eingabeeinheit und Steuerflächen. Airbus war hier das erste Unternehmen, welches diese Technologie in die Zivilluftfahrt brachte und verbaut sie seitdem auch in allen neuentwickelten Flugzeugen.³ Ein Airbus entscheidet sich schon auf den ersten Blick von seinen Mitbewerbern wie [Boeing](#) oder Embraer, indem er statt über ein Steuerhorn, welches mittig zwischen den Beinen der Piloten platziert ist, über einen Sidestick verfügt. Dieser ist im Wesentlichen ein Joystick, der jeweils außen, seitlich der Piloten verbaut ist und wie sein konventionelles Gegenstück neben der Steuerung des Flugzeugs über Knöpfe auch andere Funktionen übernimmt. Die größten Unterschiede zeigen sich jedoch im Hintergrund und liegen darin, wie ein Airbus gesteuert wird. Im Gegensatz zu Konkurrenzmodellen findet im Airbus die Steuerung im Normalfall ausschließlich über das Senden von elektrischen Signalen statt. Diese werden nicht direkt an die Steuerflächen gesendet, sondern vorher von verschiedenen Computern auf ihre Sinnhaftigkeit überprüft und ggf. angepasst weitergeleitet oder sogar übersteuert. Dies wird dadurch möglich, dass die Computer auf Flugdaten wie Geschwindigkeit und Fluglage zugreifen können und so entscheiden, ob in der aktuellen Situation eine Piloteneingabe zugelassen werden darf – diese Systeme sollen gewährleisten, dass sich das Flugzeug stets innerhalb seiner Zulassungsgrenzen bewegt.⁴

³ vgl. Penner/Plath (1989), S. 155.

⁴ vgl. Edelweiss FCOM (2017), DSC-27-10-10, S. 1/6ff.

2.2 Autotrim

Ein wesentlicher Unterschied in der Bedienung des Airbus im Vergleich zu anderen Flugzeugtypen stellt die sogenannte Autotrim-Funktion dar. Möglich gemacht wurde diese erst durch die Einführung von Fly-by-Wire und dem damit verbundenen Zwischenschalten von Computer in die Steuerung des Flugzeugs.

„Ein Flugzeug befindet sich im ausgetrimmten Zustand, wenn es Höhe wie Geschwindigkeit halten kann, auch wenn der Pilot keine Kraft auf den Steuerungsmechanismus ausübt.“⁵

Erreicht wird dies bei Verkehrsflugzeugen meist dadurch, dass das gesamte Höhenleitwerk seinen Winkel verändern kann und Piloten somit aus einer angepassten Neutralstellung heraus mit dem Höhenruder, Bewegungen um die Querachse steuern. Bei konventionellen Flugzeugen findet dies über eine manuelle Eingabemöglichkeit im Cockpit meist direkt am Steuerhorn statt. Für den Piloten bedeutet dies, besonders im Anflug bei ständig wechselnden Geschwindigkeiten, dass er stetig nachtrimmen muss, um das Flugzeug auf seiner Flugbahn und den notwendigen Steuerdruck möglichst gering zu halten.⁶ Im Airbus ist es möglich, durch das entsprechende Programmieren der zwischengeschalteten Computer dem Piloten diese Arbeit abzunehmen. So werden z.B. Nickmomente durch das Ändern der Triebwerksleistung weitgehend kompensiert. Auch das Setzen der Landeklappen, welches bei konventionellen Flugzeugen zu einem Moment um die Querachse führt, wird von der Autotrim-Funktion ausgeglichen.⁷ Lediglich nach dem Ausfall bestimmter Systeme oder Steuerungscomputer ist diese Funktion nicht mehr verfügbar, und die Piloten müssen Änderungen der Trimmung manuell über das neben den Schubhebeln platzierte Trimmrad, vornehmen. Dies gilt auch für den Fall eines Triebwerksausfalls, für den beim manuellen Flug die Seitenrudertrimmung per Hand bedient werden muss, um so das Drehmoment, verursacht durch asymmetrischen Schub, zu kompensieren.⁸

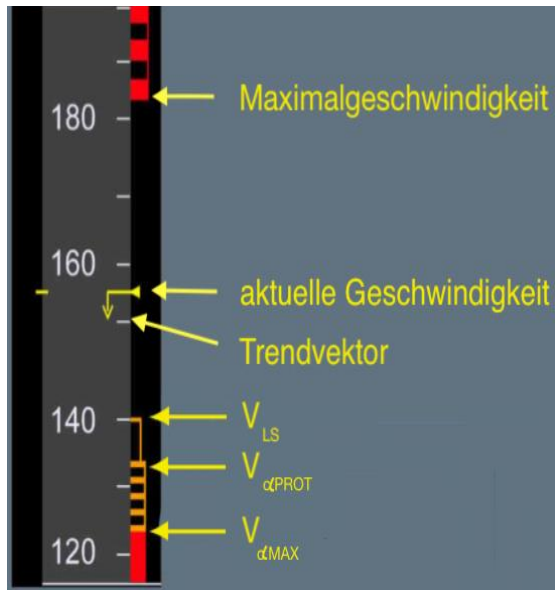
⁵ Oxford Aviation Academy, POF (2011) S. 351.

⁶ vgl. Oxford Aviation Academy, POF (2011) S. 353

⁷ vgl. Edelweiss FCOM A320 (2017), DSC-27-20-10-20, S. 1/10.

⁸ vgl. Edelweiss FCOM A320 (2017), DSC-27-20-20, S. 7/10.

Abb.: 1 Geschwindigkeitsanzeige mit Grenzbereichen



Quelle: Airbus 320 FCOM mit eigener Beschriftung

2.3 Verhalten des Airbus in Grenzzuständen

2.3.1 Niedriggeschwindigkeit

Sollte ein Airbus in einen Bereich kommen, in dem die Geschwindigkeit zu niedrig ist, für den aktuellen Flugzustand oder die Klappenstellung, so greifen automatisch verschiedene Mechanismen, um einen Strömungsabriss abzuwenden.

In Abb. 1 lässt sich auf der rechten Seite die Darstellung der Geschwindigkeit so erkennen, wie sie auch die Piloten vorfinden. Im unteren Bereich werden drei limitierende Geschwindigkeiten dargestellt, die entsprechend des Flugzustandes und Gewichtes berechnet werden und stark variieren können.

Bei abnehmender Geschwindigkeit wird zuerst die sogenannte v_{LS} erreicht. Diese steht für die niedrigste Geschwindigkeit, die im normalen Flug ausgewählt werden und somit niemals unterschritten werden darf.⁹

$v_{\alpha_{prot}}$ steht für die Geschwindigkeit, ab der das Flugzeug einen gewissen Anstellwinkel α erreicht und ein Schutzmechanismus aktiv wird. „Anstellwinkel steht für den Winkel zwischen Tragflächenmittellinie und Vektor, der sie umströmenden Luft“¹⁰ Er ist ein Indikator für den aerodynamischen Zustand eines Flugzeugs. Wird dieser Winkel zu groß, so kann der Luftstrom der Flügeloberfläche nicht mehr folgen und verwirbelt. Passiert das, so spricht man von einem Strömungsabriss. Dies ist ein Zustand, in dem der Auftrieb praktisch komplett zusammenbricht und der, sofern nicht korrigiert, zum Absturz des Flugzeuges

⁹ vgl. Edelweiss FCOM A320 (2017), DSC-22_10-50-20 S. 2/2.

¹⁰ Oxford Aviation Academy, POF (2011) S. 52

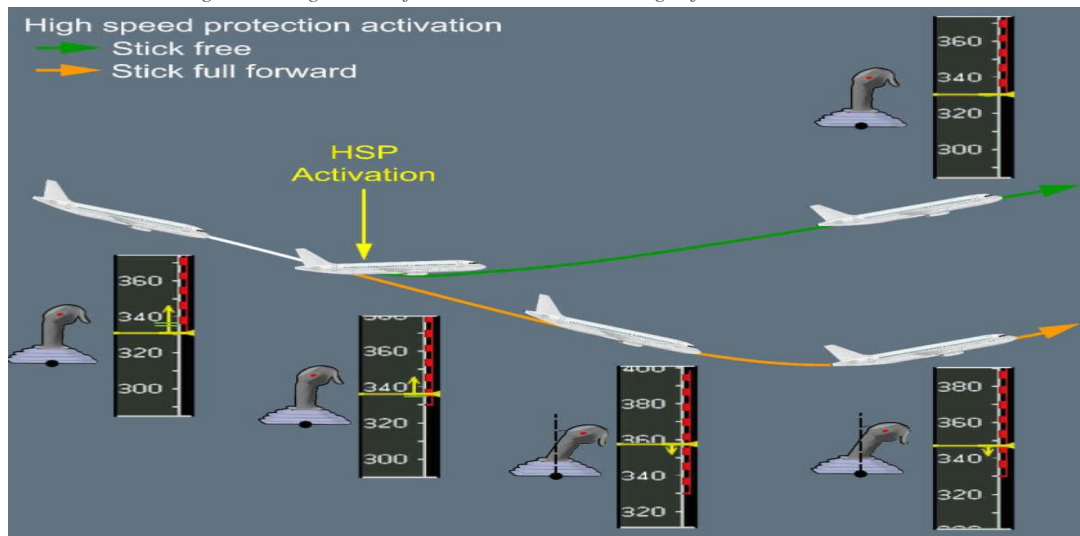
führt. Der maximal zu fliegende Anstellwinkel wird als α_{MAX} bezeichnet und mit einer durchgängigen roten Line entsprechend dargestellt.¹¹

Erreicht das Flugzeug den orange-schwarz gestrichelten Bereich, so aktiviert sich ein Modus, der, sofern die Piloten keine Steuereingaben tätigen, die Geschwindigkeit bei $v_{\alpha prot}$ hält. Dies wird dadurch erreicht, dass die Nase soweit gesenkt wird, dass diese Geschwindigkeit nicht unterschritten wird. Sollten die Piloten nun aus unterschiedlichen Gründen entgegensteuern und die Geschwindigkeit weiter abnehmen lassen, so wird $v_{\alpha MAX}$ erreicht. Diese Geschwindigkeit kann nicht unterschritten werden. Zwischen $v_{\alpha prot}$ und $v_{\alpha MAX}$ wird der Airbus automatisch die gleiche Leistung geben, wie es bei einem Durchstartmanöver der Fall wäre und jegliche nach oben gerichtete Steuereingaben der Piloten blockieren. Diese Funktion nennt sich $\alpha floor$ und ist im Grunde ein automatisierter Schutz des Flugzeugs davor, einen zu hohen und damit kritischen Anstellwinkel zu erreichen. Ist das Flugzeug wieder in einem normalen Geschwindigkeitsbereich, so erhalten die Piloten wieder volle Kontrolle über die Steuerflächen und können durch das Ausschalten der automatischen Leistungskontrolle auch den Schub wieder manuell reduzieren.¹²

¹¹ vgl. Edelweiss FCOM A320 (2017), DSC-22_10-50-40 S. 1/2f.

¹² vgl. Edelweiss FCOM A320 (2017), DSC-22_40-30 S.2/4f.

Abb.: 2 Geschwindigkeitsanzeige, Schutzfunktion mit und ohne Eingreifen



Quelle: Airbus 320 FCOM

2.3.2 Hochgeschwindigkeit

Sollte das Flugzeug willentlich oder auf Grund von Turbulenzen in einen Bereich zu hoher Geschwindigkeit kommen, so greift auch hier ein Schutzmechanismus. Für die Piloten ist die zu fliegende Höchstgeschwindigkeit mit einer unterbrochenen roten Linie, dem sogenannten Barber Pole, gekennzeichnet. Die Geschwindigkeit, ab der die Systeme eingreifen, wird mit zwei grünen Strichen dargestellt und liegt auf Abb.: 2 bei etwa 335 Knoten oder 620 km/h. Wird diese Geschwindigkeit erreicht, so würde das Flugzeug ohne Steuereingaben der Piloten die Nase soweit anheben, dass sich die Geschwindigkeit auf das Maximum absenkt und sich auf diesem Wert stabilisiert. Sollten die Piloten die Nase jedoch weiter senken, so wird sich die Geschwindigkeit bis zu einem Punkt erhöhen, ab dem die Piloten in ihren Steuerungsmöglichkeiten nach unten schrittweise eingeschränkt werden. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit kann die Nase nicht weiter gesenkt werden, bis sich der Wert wieder auf das Maximum reduziert hat.¹³ Durch diese Handhabung ist es den [Piloten](#) möglich, kurzzeitig, z.B. bei einem Ausweichmanöver, die aktuelle Maximalgeschwindigkeit zu überschreiten. Ein langanhaltendes Fliegen im kritischen Bereich wird allerdings unterbunden.

¹³ vgl. Edelweiss FCOM A320 (2017), DSC-27-20-10-20, S. 8/10ff.

3 Vor- und Nachteile der Automatisierung

3.1 Vorteile der Automatisierung

Schon im normalen Flugbetrieb werden die Vorzüge automatisierter Systeme spürbar. Insbesondere das Autotrim-System erleichtert hier den Piloten die Arbeit enorm. Das Flugzeug ist im Endanflug zum Flughafen stets ausgetrimmt, und der fliegende Pilot kann sich somit voll auf das Einhalten aller Parameter konzentrieren und hat mehr Kapazitäten zur Verfügung, falls einmal Korrekturen nötig sein sollten. Dies zeigt sich besonders bei komplexeren Anflugverfahren, bei denen die Piloten ohne exakte Hilfsmittel den korrekten Weg zur Landebahn finden müssen. Wenn keine Systeme zur Verfügung stehen, die den genauen Flugweg auf lateraler und vertikaler Ebene anzeigen, müssen Piloten den Anflug nach Sicht einteilen. Hierbei liegt ein Großteil der Aufmerksamkeit der Flugzeugführer auf der Umgebung und damit außerhalb des Flugzeugs. Da ist es eine enorme Hilfe, wenn das Flugzeug nach jeder Steuereingabe sofort ausgetrimmt ist und man nicht erst noch Manipulationen vornehmen muss.

Die wichtigste Rolle kommt den automatisierten Systemen jedoch zu, wenn sich das Flugzeug in Grenzbereichen bewegt, sei dies unbewusst durch die Piloten oder durch äußere Umstände herbeigeführt. In solchen Situationen kann es passieren, dass beide Piloten absorbiert sind von einer Aufgabe und somit nicht in der Lage sind, eine kritische Situation zu erkennen und abzuwenden. Bei solchen Vorfällen wirken eine Vielzahl an visuellen wie akustischen Einflüssen auf die Piloten ein. Um in solchen Phasen hoher Belastung das Flugzeug in seinen aerodynamischen Grenzen zu halten, bis die Piloten sich einen Überblick über die Situation verschafft haben, wurden diese automatischen Schutzmechanismen entwickelt.¹⁴

¹⁴ vgl. Edelweiss OM A (2017), S. 368ff.

3.2 Nachteile der Automatisierung

So sehr man die Automatisierung loben kann und sie das Leben der Crews erleichtert, ist sie dennoch nur ein Produkt von Berechnungen, die wiederum anhängig sind von den Daten, auf denen sie basieren. Hier tritt der größte Nachteil der Systeme zutage. Denn egal, wie gut die Programmierung sein mag, sobald die abgenommenen Werte unzuverlässig sind, wird auch das Ergebnis nicht zufriedenstellend sein. Dadurch kam es vor, dass technisch einwandfreie Flugzeuge in unkritischen Flugzuständen durch die Schutzmechanismen in Grenzbereiche gebracht wurden und bei verzögertem oder falschem Eingreifen der Crew sogar zum Absturz kamen. All dies nur durch einen Fehler in der Sensorik und damit in den Daten, die den Computern zur Berechnung ihrer Steuereingaben zu Grunde lagen!

In diesen Situationen waren die Crews oft überrumpelt, da sich solche Fehlverhalten, wenn nur in kleinen Details ankündigen, die sich nicht über die Länge eines ganzen Fluges überwachen lassen. Liefern die Sensoren falsche Daten, so strömen widersprüchliche Informationen auf die Piloten ein, und einem Crewmitglied wird u.U. eine komplett andere Geschwindigkeit angezeigt als dem anderen. Bis sich die Besatzung in diesem Moment den nötigen Überblick verschafft hat, um zu entscheiden, welchen Datenquellen man vertrauen kann und welche aus dem System genommen werden müssen, können wertvolle Minuten vergehen.¹⁵ Die Auswirkungen solcher Fehlfunktionen können bei Flugzeugen mit automatischen Schutzfunktionen wie dem Airbus besonders gravierend sein. Mittlerweile ist jedoch jedes moderne Verkehrsflugzeug mit Computern ausgestattet und abhängig von Sensordaten, weshalb Fehlverhalten derselben auch hier hochkomplexe Situationen entstehen lassen können.¹⁶

In den letzten Jahren hat sich der Fokus für [Flugzeugführer](#) weg vom ständigen, manuellen Fliegen der Flugzeuge hin zum Überwachen der Systeme und des Autopiloten bewegt. Das Fliegen von Hand beschränkt sich heutzutage meist nur noch auf die ersten Minuten nach dem Start und die letzten Minuten vor der Landung. In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass die Flugfertigkeiten der Piloten in den letzten Jahren nachgelassen haben. Dies wird zum einen auf den erhöhten Automatisierungsgrad zurückgeführt, zum anderen spielt aber auch die Art des Flugbetriebs, also Kurz- oder Langstreckenoperation, eine große

¹⁵ vgl. BEA Untersuchungsbericht AF447, S. 3/6ff.

¹⁶ vgl. Turkish Airlines Unfallbericht

Rolle. Um diesem Trend entgegenzuwirken, fördern einige [Fluggesellschaften](#) das manuelle Fliegen und erlauben ihren Piloten, bei entsprechenden Rahmenbedingungen, Sichtanflüge durchzuführen.¹⁷

4 Beispiel für einen Zwischenfall

Im Steigflug aus Bilbao heraus entdeckte die Crew eines Airbus A321, dass sich die angezeigten Mindestgeschwindigkeiten auf ihren Displays merkwürdig verhalten. Nach dem Ausschalten der Automatik verhielt sich das Flugzeug nicht wie gewohnt, und es war ein konstanter Ausschlag nach oben nötig, um den zwischenzeitlichen Sinkflug zu beenden. Im Anschluss an einige Systemneustarts und einer Auswertung der automatischen Fehlerübermittlung durch Mechaniker in Frankfurt schaltete man schließlich den ADR2 aus. Dieser Computer verwertet flugzeugeigene Positionsdaten sowie alle Druckdaten und Anstellwinkelinformationen und errechnet die Fluglage und bestimmte Geschwindigkeiten. Dieser Eingriff normalisierte den Flugzustand und machte auch das Einschalten des Autopiloten wieder möglich, der vorher noch blockiert war, da das Flugzeug aus Sicht der Systeme mit einem zu hohen Anstellwinkel unterwegs war.

Als Ursache wurden letzten Endes vereiste Anstellwinkelmesser festgestellt. Diese froren auf einem für den Steigflug normalen Wert von $4,2^\circ$ bzw. $4,6^\circ$ fest. Mit der größeren Höhe und der damit niedrigeren Luftdichte sind diese Werte jedoch zu hoch und lassen die Computer annehmen, dass sich das Flugzeug zu langsam fortbewegt. Als Gegenmaßnahme steuert das System das Flugzeug in einen Sinkflug, der nur durch konstantes Gegensteuern der Piloten gestoppt werden kann. Der Airbus verfügt über drei Messeinheiten für den Anstellwinkel. Im Normalfall werden die Werte von System 1 und 2 verwendet, sofern keiner der Werte zu stark vom Mittel aller drei Anstellwinkel abweicht. In diesem Fall waren Sensor 1 und 2 in ähnlichen Stellungen eingefroren, was dazu geführt hat, dass die Daten von Sensor 3 komplett ignoriert wurden, da die Logik vorsieht, zwei gleichen Werten Priorität zu geben. Nach dem Ausschalten von ADR2 fiel das Flugzeug in den Basisflugmodus „Alternate Law“ zurück, in dem die komplexen Schutzmechanismen nicht mehr verfügbar sind. Erst dies

¹⁷ vgl. Haslbeck A. (2014), A flight simulator study to evaluate manual flying skills of airline pilots

ermöglichte es den Piloten wieder, die volle Kontrolle über das Flugzeug zu erlangen und den Flug sicher fortzusetzen.¹⁸

¹⁸ vgl. BFU (2017), BFU Bulletin 11/17, S. 22ff.

III. Literaturverzeichnis

Printquellen

Edelweiss Operation Manual A (OM A) (2017), Revision 37 (01.09.2017).

Edelweiss Airbus A320 Flight Crew Operating Manual (FCOM), (14.09.2017).

Haslbeck A. u.a. (2014), A flight simulator study to evaluate manual flying skills of airline pilots.

Oxford Aviation Academy (2011), Principles of Flight, Shoreham: Transair.

Penner H. und Plath D. (1989), Airbus international, 4. Auflage, Stuttgart: Motorbuch Verlag.

Internetquellen

Airbus Geschichtsverzeichnis 1980er Jahre,

<http://company.airbus.com/company/heritage/heritage-timeline/1980.html>.

Bulletin Unfälle und Störungen beim Betrieb ziviler Luftfahrzeuge 11/17, https://www.bfu-web.de/DE/Publikationen/Bulletins/2014/Bulletin2014-11.pdf?__blob=publicationFile.

Flugunfallbericht Air France Flug 447 in deutscher Sprache,

<https://www.bea.aero/enquetes/vol.af.447/note05juillet2012.de.pdf>.

Zusammenfassung der Bruchlandung einer Boeing 737 in Amsterdam,

<http://www.avherald.com/h?article=41595ec3/0071&opt=1>.