

Upset-Definition kassiert – reicht das?

Unter dem Schlagwort „Upset“ wurden in den letzten Jahren Trainingsprogramme aufgelegt, die Piloten Grenzerfahrungen vermitteln sollen und ihr Verständnis von Grenzzuständen verbessern sollen. Leider sind diese Programme sehr holzschnittartig und in ihrer flugphysikalischen Fundierung zu plakativ, um ein geordnetes theoretisches Verständnis von Grenzzuständen zu schaffen. Die Theorie wird zu sehr vereinfacht. Der für den Normalflug erprobte Weg, durch standardisierte Verfahren Situationen zu meistern, taugt hier nur noch bedingt. Jedenfalls enthält die Praxis zu derbe Vereinfachungen. Die dauernde Revision der Konzepte zeigt zudem, wie unsicher die Branche in ihrem Verständnis von „Upsets“ ist.

Wie stolz war doch die gewerbliche Fliegerei auf ihre Definition von „Upset“. Eine „präzise Definition“,¹ jubelte die Verfasser der „Airplane Upset Recovery Training Aid“ (AURTA). APS lobte, nun habe man endlich eine klare Definition,² nachdem lange Zeit Unklarheit geherrscht habe, was denn der

1) http://www.faa.gov/other_visit/aviation_industry/airline_operators/training/media/AP_UpsetRecovery_Book.pdf, Section 2.3

2) apstraining.com/unusual-attitude-training/

Unterschied zwischen „Upset“ und „Unusual Attitude“ sei.

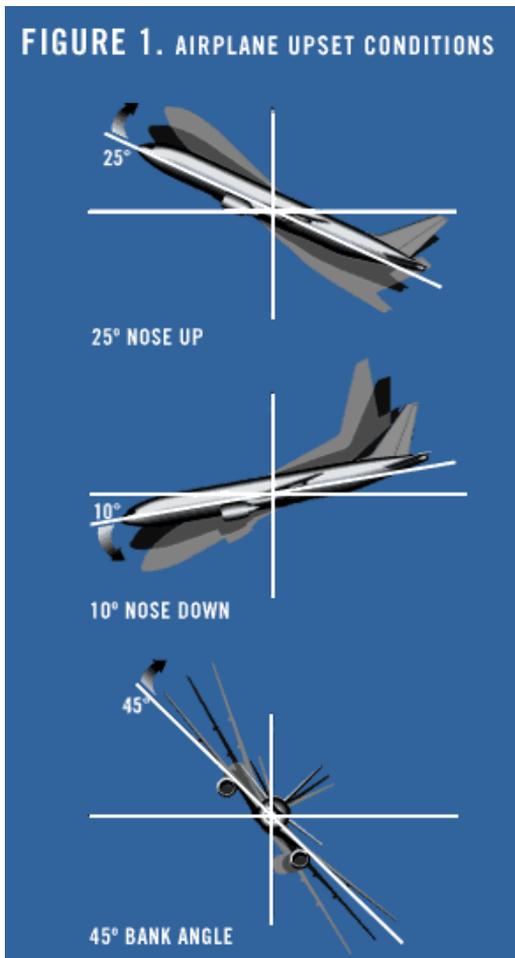
Notwendig war diese Definition schon! Denn ohne eine sie hätte man „Upset“ auch für eine Magenverstimmung oder einen Wutausbruch halten können. In der Fachliteratur gibt es diesen Begriff nämlich gar nicht und auch von der Wortbedeutung her lässt sich nicht erschließen, was mit diesem Begriff im Bezug auf die Fliegerei gemeint sein könnte. Erst durch die Definition wussten wir, dass wir es mit einem „Upset“ zu tun haben, wenn entweder die Nase mehr als 25° über den Horizont bzw. 15° unter den Horizont zeigt, der Winkel um die Längsachse mehr als 45° beträgt oder man mit einer Fahrt unterwegs ist, die für die Flugbedingungen „unangemessen“³ ist.

Ist so ein „Upset“ gefährlich? Vermutlich – genau wird das nirgendwo gesagt. Aber es wird gesagt, dass „Upsets“ zu Kontrollverlusten (LOC-I)⁴ führen können. Also sind sie wohl gefährlich.

Aber was ist daran gefährlich, wenn ich mit einer Cessna eine Schräglage von 46° einnehme? Per Definition bin ich dann „upset“.

3) inappropriate

4) Loss Of Control In Flight



Quelle: Boeing

Natürlich treten bei 46° Bank Kräfte auf, die es zu kompensieren gilt, und natürlich muss ich am Höhenrudder ziehen, wenn ich die Höhe halten will. Aber wer das nicht weiß, sollte seinen Schein abgeben.

Vielleicht will man mit dem neuen Begriff „Upset“ deutlicher zwischen beabsichtigten und unbeabsichtigten Fluglagen unterscheiden. Denn zur „Upset“-Definition gehört der Zusatz, dass damit Fluglagen gemeint sind, in die man **unbeabsichtigt** gekommen ist. Wenn ich mit einer Cessna also horizontal fliegen will und dann feststelle, dass

ich mich unbeabsichtigt in einer Schräglage von 46° befinde, dann soll diese fehlende Absicht das Wesensmerkmal des „Upset“ sein!? Aha! Es geht also nicht um Flugphysik, sondern um psychologische Aspekte wie Absichten, Wünsche, Ambitionen? Aber soll wirklich die Absicht entscheidend sein, ob ein Flugzustand gefährlich ist oder nicht? Für einen Ingenieur klingt das nicht sehr überzeugend und bleibt nebulös. Wohl denn!

Pilot und Flugzeug hat sich schon früh gegen diesen Modebegriff gestellt⁵ und wir waren erschrocken, wie schnell und wie unkritisch diese Definition verbreitet wurde. Innerhalb weniger Jahre fand sie rasende Verbreitung und mittlerweile steht sie in vielen offiziellen Dokumenten der ICAO, der FAA und der EASA.

Bei diesem „Erfolg“ und bei dieser Verbreitung ist es schon überraschend, dass die „Upset“-Definition in der aktuellen 3. Revision der AURTA – die jetzt AUPRTA⁶ heißt – zurückgezogen wurde. Denn die AURTA ist kein gewöhnliches Dokument, sondern gilt als Bibel der „Upset“-Anhänger. Ende des 20. Jahrhunderts hatten sich Boeing, Airbus und die Flight Safety Foundation (FSF) zusammengetan und eine 1. Version für die FAA verfasst, die 1998 veröffentlicht wurde. Diese 1. Version enthielt bereits die missweisende Definition. Mit der Verbreitung der Bibel verbreitete sich auch die Definition. Im Jahre 2008 wurde die Revision 2 veröffentlicht, die ein Supplement enthielt, die Definition aber

5) Siehe *Pilot und Flugzeug*, Heft 12, 2015, S. 100–112

6) Airplane Upset Prevention & Recovery Training Aid, Stand Feb. 2017

unangetastet ließ. Die aktuelle 3. Version, die im Februar 2017 veröffentlicht wurde, enthält eine Reihe von Erweiterungen und Ergänzungen – die alte Definition sucht man aber jetzt vergebens.

Ich frohlockte zunächst, denn ich vermutete, dass man die Definition wegen ihrer flugphysikalischen Schwächen entsorgt hatte.⁷ Doch ich fand dann im Executive Summary eine andere Erklärung: Hier stand, dass viele Trainer aus der Definition geschlossen hätten, man müsse **ausschließlich Flugzustände jenseits dieser Grenzwerte** trainieren. Man habe die Definition also herausgenommen, weil die Trainer, statt Piloten die Entstehung solcher Flugzustände zu vermitteln, vorwiegend Extremzustände exerziert hätten.⁸ Was haben wir nur für Fluglehrer? Das wäre ja so, als würden Fahrlehrer ihren Fahrschülern an engen, geschwindigkeitsbegrenzten Autobahnabfahrten nur zeigen, wie man diese mit Höchstgeschwindigkeit – oder schneller – durchfährt, statt ihnen die witterungsbedingten Gefahren zu erklären und sie anzuleiten, vor der Kurve ausreichend abzubremesen, weil Bremsen in engen Kurven ein Ausbrechen provoziert. Oder?

Mit der aktuellen Revision ist die ursprüngliche Definition nun vom Tisch und es ist zu hoffen, dass die Herausgeber von Hand-

7) Die neue Definition als „undesired airplane state“ gemäß LOSA ist aber auch nicht überzeugend, weil damit das Abweichen von einer zugewiesenen Flughöhe zum „Upset“ wird. Das mag ein gefährvolles Verhalten sein – hat aber mit Flugphysik nichts mehr zu tun.

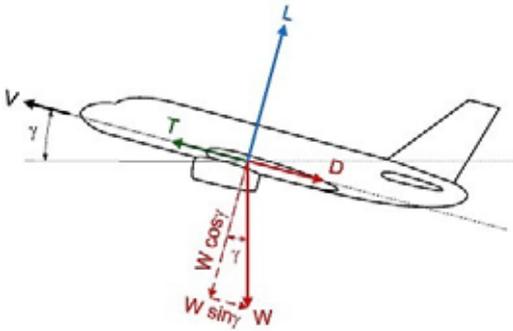
8) „Most recovery maneuver training was done only after exceeding these parameters, without paying attention to the reasons of these diversions.“ <https://www.icao.int/safety/LOCI/AUPRTA/index.html>

büchern zu diesem Thema nachziehen. Doch es existieren zahlreiche Beispiele dafür, dass ein einmal in die Welt hinausposaunter Unsinn weiter in den Köpfen lebt und praktiziert wird. Daher möchte ich noch einmal die Gelegenheit nutzen, gegen diese Definition zu argumentieren. Sie ist nämlich nicht nur unsinnig, sondern auch irreführend und voller flugphysikalischer Fehler. Wer an sie glaubt, kann folgenschwere Fehler machen und in gefährlichen Situationen falsch reagieren.

Die Mär vom 25° Nose Up „Upset“

Bisher galt als „Upset“, wenn der Winkel zwischen Flugzeuglängsachse und Horizont (Attitude) 25° überschritt. Lassen wir mal außer Betracht, ob ein Flugzeug unbeabsichtigt in diese Fluglage gekommen ist oder ob der Pilot von der Situation überrascht ist. Das sind psychologische Faktoren, die sicherlich nicht unbedeutend sind. Aber der Flugphysik ist es erst einmal egal, ob eine Fluglage beabsichtigt ist oder nicht. Ein Flugzeug kennt die Absichten eines Piloten nicht; es folgt nur den Gesetzen der Physik. Deshalb erscheint es mir vorrangig, erst einmal die Flugphysik zu beleuchten.

Hebt man die Nase eines Flugzeugs über den Horizont, addiert sich zur Kraft des aerodynamischen Widerstands eine Gewichtskraftkomponente, die mit dem Sinus des Nickwinkels γ ansteigt. Je größer der Nickwinkel (Pitch), desto größer die Gewichtskraftkomponente, die das Triebwerk mit seinem Schub zusätzlich kompensieren muss. Gleichzeitig verringert sich der benötigte Auftrieb mit dem Kosinus des Nickwinkels.



Kräfte im Steigflug

Soweit die Theorie. Aber was bedeutet das für den Piloten? Bei einem Nickwinkel von 25° braucht ein Flugzeug 10 % weniger Auftrieb als im Horizontalflug, aber 42 % mehr Schub, um die Gewichtskraftkomponente zu kompensieren. Das ist viel. Ob es aber **zu viel** ist, hängt nicht vom Pitch, sondern von der verfügbaren Überschussleistung ab. 25° Pitch sind kein Problem, wenn ein Flugzeug genügend Überschussleistung hat. Steht nicht genug Überschussleistung zur Verfügung, können schon 10° Pitch Probleme machen. Denn sobald der Überschuss negativ wird, verringert sich die Geschwindigkeit im Steigflug und erreicht irgendwann die Stallgeschwindigkeit. Je größer der Pitch ansteigt, desto größer wird natürlich auch das Leistungsdefizit und damit die „Bremswirkung“. Da das eine Sinusfunktion ist, ist das auch kein linearer Zusammenhang: Bei kleinen Pitch-Winkeln wirkt die Gewichtskomponente erst schwach, um mit zunehmendem Winkel rasant anzusteigen. Deshalb sind hohe Pitch-Winkel auch gefährlicher, weil sie eine stärkere „Bremswirkung“ entfalten und damit dem Piloten weniger Zeit lassen, zu reagieren. Aber letztlich kommt es nicht auf den Pitch, sondern nur auf die Überschussleistung an! Die Überschussleistung entscheidet also, ob der maximale Pitch für einen kontinuier-

lichen Steigflug erreicht oder schon überschritten ist. Das erkennt man aber nicht am Pitch, sondern am Fahrtmesser. Deshalb ist es falsch, den Blick auf den Attitude Indicator zu lenken. Der Blick gehört auf den Fahrtmesser. Bleibt die Fahrt stabil, hat man genügend Schub für den Steigwinkel. Geht die Geschwindigkeit zurück, ist der Pitch zu groß!

Natürlich ist der Pitch ein zusätzlicher Parameter, über den man aus der Erfahrung abschätzen kann, ob man damit klarkommt oder nicht. Hat man die Sinusfunktion verstanden, weiß man auch, dass hohe Winkel auch hohe Gewichtskomponenten bedeuten, die starke Kraftwirkungen entfalten. Aber die Referenz bleibt die Geschwindigkeit, weil die Gefahr darin besteht, dass man die Mindestgeschwindigkeit unterschreitet und das Flugzeug instabil wird! Deshalb ist der Blick zum Fahrtmesser wichtiger als der Blick zum künstlichen Horizont, weil man am Fahrtmesser ablesen kann, in welcher Situation man ist und wie viel Zeit man hat, die Situation zu recovern!



PFD mit Speed-Trend-Vektor

Moderne Glascockpits bieten zur Unterstützung Trendvektoren, die am Geschwindigkeitsmesser anzeigen, wie groß die Geschwindigkeit in einigen Sekunden sein wird. Beim Airbus zeigt die Spitze des Pfeils die Trendextrapolation in zehn Sekunden an. Das ist sinnvoll, weil es hilft, „ahead of the plane“ zu sein.

Der Pitch ist nur zweitrangig und auch unzuverlässig, weil Schub und Widerstand nach jeweiligen Umständen variieren können. Ein Pilot sollte deshalb nie ausschließlich einem festen Pitch-Wert hinterherfliegen.

Ein für alle Flugzeugmuster allgemeingültiger Grenzwert, speziell ein Grenzwert von 25° , ist aber in jedem Fall schierer Unsinn: Jedes Flugzeug hat seinen spezifischen Grenzwert, den es zu beachten gilt – ein allgemeingültiger Grenzwert taugt da gar nicht. Ein fester Grenzwert, wie die 25° , suggeriert sogar, dass mit diesem Wert eine Grenze gezogen wird, mit der zwischen gefährlich und ungefährlich unterschieden werden könne. Dafür besteht aber kein Grund! 25° sind nicht gefährlicher als 20° oder 15° oder irgendein anderer Wert! Exzessive Pitch-Winkel können gefährlich werden, weil sie eine Situation repräsentieren – nicht, weil sie einen bestimmten Wert überschreiten! Der maximale Pitch für einen kontinuierlichen Steigflug hängt von der Triebwerksleistung und der Flugzeugmasse ab. Er wird kritisch, wenn man hinter die Power-Curve kommt. Diesen Zusammenhang gilt es zu verstehen. Ein leerer A320 mag 25° Pitch erreichen können. Aber vollbeladen und an einem heißen Tag erreicht er das nicht. Eine C172 wiederum kommt niemals in die Nähe von 25° . Es ist also didaktisch eminent wichtig, das

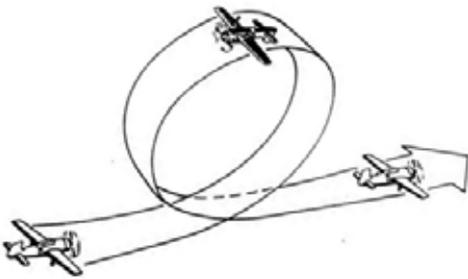
Augenmerk auf die spezifische Steigleistung eines Flugzeugmusters zu lenken, statt mit scheinbar allgemeingültigen Grenzwerten zu hantieren! Nicht die ICAO oder ein anderer Verein ist maßgebend, sondern die Flugphysik!

Umgekehrt ist ein Pitch von mehr als 25° nicht gleich gefährlich: Jedes Kunstflugzeug überschreitet diesen Wert, wenn es einen Looping oder andere Figuren fliegt. Gottseidank gibt es den Kunstflug schon seit den 1920er Jahren. Würde man Kunstflug heute einführen wollen, würden Luftfahrtbürokraten wohl in Panik geraten: „Sie wollen steiler als 25° fliegen? Das ist ja ‚Upset‘, ‚Upset‘ sage ich Ihnen! Das kann ich nicht genehmigen!“

Die gewerbliche Fliegerei begreift mittlerweile, dass das Triebwerk nicht die einzige Energiequelle ist. In neueren Publikationen wird endlich vorsichtig darauf verwiesen, dass man notfalls Höhe in Geschwindigkeit eintauschen kann und dass Fliegen letztlich ein Energiemanagement ist, das neben der Triebwerksleistung auch die Höhe und die Geschwindigkeit einbezieht.

Ein Kunstflugzeug schafft einen Looping, weil es **vorher** auf eine bestimmte Eingangsgeschwindigkeit beschleunigt und diese kinetische Energie in Höhe umwandelt. Man tankt also vorher kinetische Energie. Diese kinetische Energie wird in potenzielle Energie gewandelt und diese potenzielle Energie wieder in kinetische Energie. Die Kunst eines Loopings besteht darin, den Geschwindigkeitsabbau so zu bemessen, dass die Geschwindigkeit nicht aufgezehrt ist, bevor man den Scheitelpunkt erreicht. Zieht man zu stark, wird der Widerstand zu groß –

zieht man zu wenig, wird der Weg zu lang, um den Scheitelpunkt rechtzeitig zu erreichen. Deshalb orientieren sich Kunstflugpiloten an der G-Belastung (= Winkeländerung), um einen gleichmäßigen Kreis zu fliegen. Die Pitch-Attitude spielt dabei eine höchst nachrangige Rolle.



Looping

Boeing hat mit einer B737 MAX auf der Farnborough Airshow 2016 eindrucksvoll demonstriert, dass man auch einen Airliner mit einem Pitch von 40° und mehr fliegen kann.⁹ Auch hier sieht man deutlich, dass der Steigwinkel aus der kinetischen Energie und nicht nur aus der Triebwerksleistung bezogen wird. Das funktioniert bei 40° Pitch jedoch nur für eine kurze Zeit und man sieht in dem Video vorbildlich, wie der Pilot das Flugzeug in eine Low-G Situation bringt, um einen Stall zu vermeiden. Nicht der absolute Pitch-Winkel, sondern die verfügbare kinetische Energie ist die relevante Variable. Bei „Nose-up“ geht es nie um einen statischen Grenzwert, sondern um einen dynamischen Prozess, der zu beherrschen ist.

Der einzig relevante statische Grenzwert ist der maximale Pitch beim Abheben, um

Tailstrike zu vermeiden. Aber dieser Wert ist geometrisch vorgegeben und ergibt sich nicht aus der Flugphysik.



B737 MAX in Farnborough

Q:Youtube

Das Schlimme, einen Nickwinkel größer 25° als „Upset“ zu bezeichnen, liegt auch darin, dass er für Piloten, Prüfer und Behördenmitarbeiter zum Orientierungsmaßstab werden kann. Statt Zusammenhänge begreifen zu wollen, stattusterspezifische Performancedaten und Betriebsgrenzen zu berücksichtigen, besteht die Gefahr, dass die Sachkunde von Piloten geringer wird und weniger qualifizierte Prüfer und Behördenmitarbeiter sich an scheinbar gesicherten Grenzwerten orientieren, die jedoch in Wirklichkeit irrelevant sind. Wir kennen das ja von anderen Grenzwerten wie Stickoxiden etc. Das macht es auch für Verwaltungsgerichte immer schwerer, sachgerecht zu entscheiden. Denn Verwaltungsrichter sind erst recht keine Fachleute und lassen sich allzu gern durch Grenzwerte beeindrucken.

Die Mär vom 10° Nose-down-„Upset“

Ebenso wie ein Flugzeug im Steigflug mehr Schub benötigt oder Geschwindigkeit verliert, führt dasselbe Prinzip dazu, dass ein Flugzeug im Sinkflug beschleunigt, wenn

9) <https://www.youtube.com/watch?v=RyeqqSNSg-Q&feature=youtu.be>

mit unveränderter Leistungseinstellung die Nase unter den Horizont gedrückt wird. In diesem Fall erhöht die Gewichtskomponente mit zunehmendem Neigungswinkel den effektiven Schub. Dadurch beschleunigt das Flugzeug, bis die Kraft des – im Quadrat der Geschwindigkeit – ansteigenden aerodynamischen Widerstands den Schubzuwachs wieder ausgleicht.

Die Gefahr einer solchen Fluglage besteht darin, dass Geschwindigkeitsgrenzen wie eine V_A , eine V_{NO} oder eine V_{NE} überschritten werden. Denn diese Geschwindigkeitsgrenzen markieren wichtige Festigkeitsgrenzen der Flugzeugstruktur. Im Unterschied zum „Nose-up“ geht es nicht um Kontrollverlust, sondern um die Gefahr, dass das Flugzeug auseinanderbricht.

Das ist relevant! Wer von einer C-150 auf eine Beech Bonanza umgestiegen ist, wird überrascht gewesen sein, wie schnell eine Bonnie Fahrt aufnimmt, wenn man die Nase unter den Horizont nimmt. Das auf einer C-150er gelernte Verfahren, nur das Höhenruder zu drücken, wenn man runter will, statt über eine Reduzierung der Leistungseinstellung den Sinkflug einzuleiten, wird auf aerodynamisch hochwertigen Flugzeugen unerwartet riskant. Solche Piloten müssen umlernen, wenn sie von den alten Schulflugzeugen auf aerodynamisch hochwertige Muster umsteigen. Wenn man jetzt Verkehrspiloten beibringen muss, dass moderne Flugzeuge schnell Fahrt aufnehmen, wenn die Nase deutlich unter den Horizont zeigt, dann verweist das auf Mängel bei der Grundausbildung. Deshalb ist es richtig, solchen Piloten Nachhilfe zu erteilen und ihnen zu erklären, welche physikalischen Eigenschaften dazu führen, dass ein Flugzeug Fahrt aufnimmt, wenn die Nase

unter den Horizont zeigt.

Aber das rechtfertigt nicht, -10° als allgemeinen Grenzwert zu propagieren: Es gibt Flugzeugmuster, die bei -10° dramatisch Fahrt aufnehmen, und es gibt Flugzeugmuster, die bei -10° im grünen Geschwindigkeitsbereich verbleiben. Ein extremes Beispiel ist die Grumman FM-2 Wildcat, die keine V_{NE} hat und im senkrechten Sturzflug geflogen werden kann, weil sie so „draggy“ ist, dass man auch in dieser Fluglage mit dem Gas die Geschwindigkeit regulieren kann.



Grumman FM-2 Wildcat

Ein allgemeingültiger Grenzwert macht keinen Sinn! Er taugt nicht mal als Orientierung. Denn er lenkt das Augenmerk auf die Attitude und den Attitude Indicator, der in einer solchen Situation aber unerheblich ist! Auch hier gehört der Blick auf den Speed Indicator und die Grenzggeschwindigkeiten. Auch hier ist der Speed Trend Vector hilfreich, weil er einen

unmittelbaren Eindruck vermittelt, wie schnell die nächste Geschwindigkeitsgrenze erreicht ist. Wenn hier noch ein Instrument wichtig wäre, ist es ein „G-Meter“. Denn in einer solchen Situation kommt es darauf, nur so weit zu ziehen, dass die Festigkeitsgrenzen nicht überschritten werden. Dabei muss man manchmal bis an die Grenzen gehen. Ohne G-Meter ist das schwer.

Ein absoluter Grenzwert geht völlig in die falsche Richtung, weil er Piloten verleitet, sich an diesen Werten zu orientieren und diese Grenzwerte einzuhalten. Es ist aber wichtig, Piloten Zusammenhänge zu erklären und das Augenmerk auf reale Grenzwerte zu lenken. Schließlich muss man Piloten erklären, dass zwischen Nose-up und Nose-down ein erheblicher Unterschied im Gefährdungspotenzial liegt. Bei Nose-up geht es um drohenden Kontrollverlust; bei Nose-down um drohendes Strukturversagen. In der Praxis treten Nose-up und Nose-down selten isoliert auf, sondern in Verbindung mit Schräglagen. In solchen Situationen muss man wissen, welche Korrektur Priorität hat, damit man die Situation nicht verschärft. Dazu gehört aber ein Verständnis von Zusammenhängen. Die Kenntnis simpler Grenzwerte reicht da nicht.

Die Mär vom 45°-Bank-,Upset“

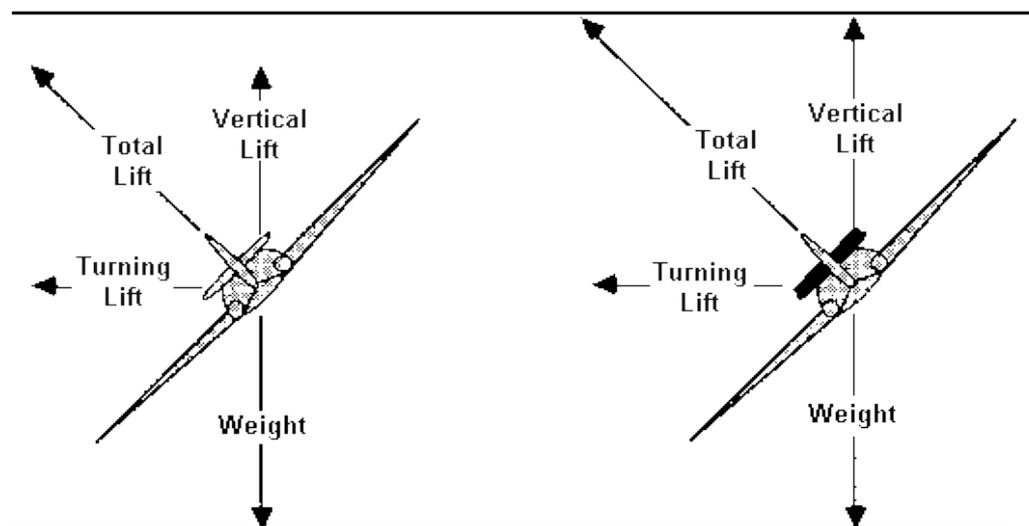
Jeder Pilot lernt in der Theorieausbildung, dass ein Rollwinkel von 45° das Lastvielfache auf 1,41 G erhöht. Die Folge dieses Zuwachses an Last sei, dass die Stallgeschwindigkeit um 19 % ansteige. Zur Untermauerung werden gerne trigonometrische Formeln bemüht, die suggerieren sollen, dass man diesen Anstieg exakt ausrechnen kann! Bei

45° Bank erhöhe sich nach diesen Formeln die Stallgeschwindigkeit um genau 19 % und nicht etwa um 20 %. Man wähnt, genau sein zu können, weil man ja mathematische Formeln hat. Deshalb enthält auch jede Lehrunterlage Rechenbeispiele, mit denen vorgerechnet wird, dass bei 30° Bank die Stallgeschwindigkeit um 7 % und bei 60° um 41 % ansteigt.

Der ATPL-Fragenkatalog ist voll von Fragen, in denen geprüft wird, ob man diese Rechenbeispiele gelernt hat, und wer sein Häkchen bei 1,41 G macht, wo 1,41 Stallgeschwindigkeit hingehört, weil ihm die Zahl 1,41 so bekannt vorkommt, hat die Aufgabe falsch gelöst. Es wird also extensiv geprüft, ob man dividieren kann und weiß, dass die Quadratwurzel aus 2 den Wert 1,41 hat. Brav, wer jetzt auch noch die Kosinus-Werte für Winkel im Kopf hat.

Auch in jedem Flughandbuch prangt eine Tabelle, in der die Stallgeschwindigkeit nicht nur für die Horizontallage angegeben ist, sondern auch für Querneigungen von 30°, 45° und 60°. Wer glaubt, diese Werte seien in Flughandbüchern abgedruckt, weil nur ein Testpilot solche Angaben berechnen kann, irrt. Jeder Schüler, der die 10. Klasse absolviert hat, sollte das können. Es geht um Schulstoff.

Mit der Lösung dieser Aufgaben beweist man nämlich lediglich, dass man Ahnung von elementarer Trigonometrie hat – nicht aber, dass man Ahnung vom Kurvenflug hat. Denn wer eine Steilkurve mit 45° Querlage fliegt, kommt **nicht** notwendigerweise auf eine Belastung von 1,41 G – es können auch 0,5 G oder 1,8 G sein. Die 1,41 G liegen nur dann an, wenn



Bank angle, Turning component of lift, and Weight are equal in both cases

--- Stick is neutral ---
Vertical lift component does
not equal weight and the
aircraft descends

--- Stick Pulled Back ---
Increases the total lift so
the vertical lift component
now equals the weight and the
aircraft remains level

Quelle: Aerospaceweb

die Steilkurve in konstanter Höhe geflogen wird. Wenn man schon mit zwei Stellen hinter dem Komma rechnet, sollte man fairerweise auch die Höhenhaltung mit zwei Stellen hinter dem Komma rechnen. Aber um rechnerische Genauigkeit geht es hier nicht! Denn das Lastvielfache (auf die Tragflächen) wird nicht durch den Rollwinkel, sondern durch eine koordinierte Kurvensteuerung erzeugt!

Dabei kommt dem **Höhenruder** die zentrale Bedeutung zu. Je mehr man zieht, desto höher ist die G-Belastung. Wer nur rollt, ohne zu ziehen, erzeugt keine G-Belastung. Wer aber eine Steilkurve mit einer Querlage von 45° fliegt, dabei Höhe verliert und diese verlorene Höhe durch heftiges Ziehen wieder zurückgewinnen will, kann eine sehr viel höhe-

re G-Belastung als 1,41 erzeugen. Wer also glaubt, dass man mit einer Begrenzung des Rollwinkels auch die G-Belastung begrenzen kann, hat die Grundlagen der Mechanik nicht verstanden. Der Unterschied zwischen Rollwinkel und Kurvenflug lässt sich leicht zeigen:

Die linke Seite der eingefügten Grafik soll ein Flugzeug zeigen, das in eine Schräglage nach links gerollt ist. Durch den eingenommenen Rollwinkel ändert sich nicht die Größe des Auftriebs – nur seine Richtung. Dadurch entsteht auch eine Kraft nach links, die das Flugzeug zur Seite bewegt, aber nicht die G-Belastung auf die Flächen erhöht. Solange das Flugzeug geradeaus fliegt, bleibt die G-Belastung bei 1 G! Natürlich wird das Flugzeug dabei Höhe verlieren, weil durch

die Schräglage der effektive Auftrieb zur Kompensation der Gewichtskraft verringert wird¹⁰ – aber auch dadurch erhöht sich nicht die G-Belastung auf das Flugzeug.¹¹ Eine höhere G-Belastung entsteht erst, wenn der Pilot am Höhenruder zieht und damit einen Auftrieb erzeugt, der in Vektoraddition die Gewichtskraft kompensiert (rechtes Bild). Dadurch wird das Flugzeug in eine Radialbahn gezwungen, die wiederum eine G-Beschleunigung verursacht. Nicht der Rollwinkel, sondern die Radialbahn, in die ein Pilot das Flugzeug mit den Rudern zwingt, erzeugt die G-Beschleunigung auf das Flugzeug und seine Insassen!

Es ist aber zu beachten, dass G-Belastung nicht nur durch die horizontale Beschleunigung, sondern auch durch Vertikalbeschleunigung entsteht: Eine Horizontalkurve mit gleichzeitiger Vertikalbeschleunigung, wie eine Chandelle, erhöht die ef-

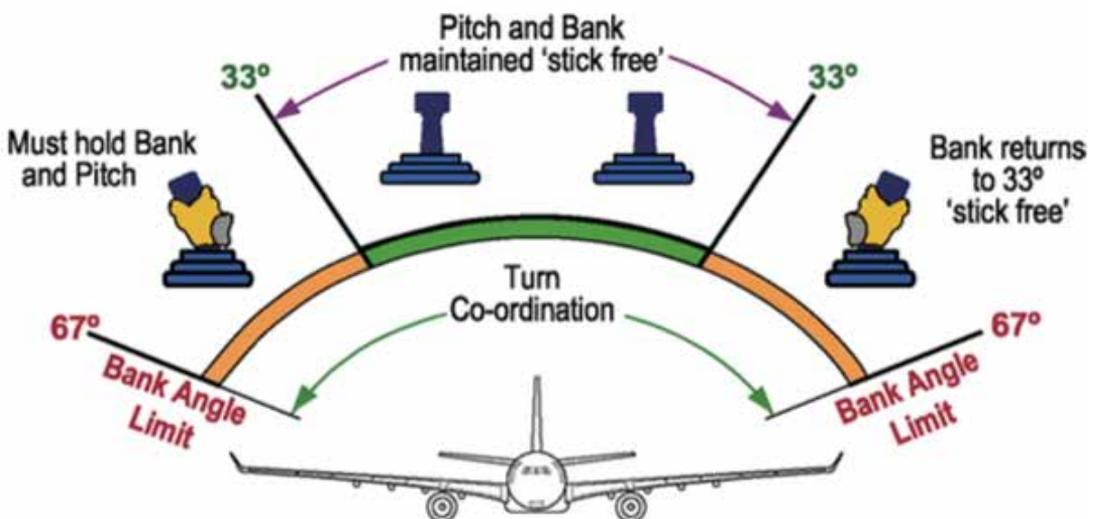
fektive G-Belastung. Wer in einer steilen Chandelle stark hochzieht, kann die Struktur des Flugzeugs überlasten – auch wenn rechnerisch die G-Belastung für den Rollwinkel im Limit bleibt. Ebenso erhöht ein Pilot, der einen Endanflug überschossen hat und nun versucht, eng zurückzukurven, und gleichzeitig die Sinkrate „wegziehen“ will, die effektive G-Belastung. G-Belastung und resultierende Stallgeschwindigkeit ergeben sich nicht aus einer Dimension.

Diese Betrachtung wird interessant, wenn man dazu die Airbus-Philosophie der Flugsteuerung betrachtet:

Diese ist so programmiert, dass im normalen Betriebsmodus (normal law) der Rollwinkel vom System auf 67° begrenzt ist. Der Grenzwert von 67° ist offensichtlich auf das maximale Lastvielfache von 2,5 G für Verkehrsflugzeuge bezogen, da die Umkehrfunktion des Kosinus für 67° ziemlich genau 2,5 ergibt. Man erkennt eine gewisse Naivität der System-Designer, ihr Know-how aus der Mathematik und nicht aus der

10) Dadurch entstehen andere Probleme, die aber hier nicht weiter betrachtet werden sollen.

11) Die G-Belastung verringert sich eingangs sogar.



AIRBUS Rollwinkelsteuerung

Fliegerei zu beziehen. Die Hälfte von 67° ergibt abgerundet 33° – und auch diese Zahl ist offensichtlich eine nur arithmetische und keine flugphysikalische Begründung für die Unterteilung.

Bis 33° Bank funktioniert das System so, dass man mit dem seitlichen Ausschlag des Sidesticks die Rollrate steuert, die bei Maximalausschlag $15^\circ/\text{sec}$ beträgt. Mit dem Sidestick steuert man also nicht direkt die Querruder, sondern ruft eine gewünschte Rollrate ab. Daraufhin ermittelt ein Rechner den notwendigen Querruderausschlag und steuert die Querruder. Gleichzeitig ermittelt der Rechner die notwendige Pitch-Korrektur, um die Höhe zu halten. Ein weiteres System kümmert sich darum, dass das Flugzeug weder schiebt noch schmiert und die Flugzeuglängsachse genau tangential zur Kurve bleibt. Wenn man einen Airbus mit dem Stick auf 30° Bank gerollt hat, kann man also den Stick loslassen und die Systeme sorgen dann dafür, dass man eine koordinierte Kurve fliegt. Will man die Kurve beenden, genügt es, den Airbus in die Horizontal-Lage zu rollen, und die Systeme werden die Kurve koordiniert ausleiten. Erst jenseits von 33° Bank muss ein Airbus-Pilot den Stick in der Stellung halten, um den Rollwinkel zu halten, und er muss auch die Pitch-Korrektur manuell steuern. Lässt er den Stick los, rollt das System selbstständig auf einen Rollwinkel von 33° zurück und übernimmt auch wieder die Pitch-Korrektur.

Ein schönes System, das den Piloten im Normalbetrieb entlastet, weil es ihm die Kurvenkoordination abnimmt. Damit entsteht aber auch eine Gefahr: Wer im Normalbetrieb ausschließlich innerhalb der 33°

Grenzen bleibt, mag das Gefühl bekommen, dass tatsächlich nur der Rollwinkel für die Kurvensteuerung und die G-Belastung maßgeblich ist, und er mag den Eindruck bekommen, dass sich jenseits von 33° auch flugphysikalisch etwas ändert. Denn plötzlich ändert sich ja was!

Auch Piloten der Allgemeinen Luftfahrt neigen gerne zu der (unbewussten) Ansicht, dass man allein mit dem Querruder Kurven steuern kann. Das negative Wendemoment ist bei modernen Flugzeugen vielfach „wegkonstruiert“ und in der Praxis ist es meist unerheblich, wenn im Kurvenflug die Pitch-Korrektur vergessen wird. Vielen Piloten wird gar nicht auffallen, dass sie im Kurvenflug Höhe verlieren. Mancher mag wahrnehmen, dass im Steigflug die Steigrate abnimmt, wenn er eine Kurve fliegt – aber warum dies so ist, hat man meist vergessen. Und wer im Sinkflug eine Kurve einleitet, dem mag es geradezu willkommen sein, dass das Flugzeug „besser“ sinkt. Man will ja ohnehin runter.

Im Normalbetrieb passt das auch. Im Normalfall ist so ein Verhalten auch nicht direkt gefährlich. Deshalb macht es auch keinen Sinn, bestimmte Neigungswinkel als kritisch zu bezeichnen – egal ob man die Grenze bei 33° oder bei 45° setzt. Wichtiger ist die Grundüberlegung, dass man bei Schräglagen Höhe verliert, weil der Auftriebsvektor dem Gewichtvektor nicht mehr genau entgegengerichtet ist. Ferner sollte jedem Piloten klar sein, wie sehr mit zunehmendem Rollwinkel der „Auftriebsverlust“ steigt: Bei 15° Bank „fehlen“ gerade 3,4 % Auftrieb. Auch bei 30° Bank sind es erst 13,5 % Auftriebsverlust, der sich aber bei 45° Bank auf fast 30 % und bei 60° Bank auf stolze 50 % steigert.

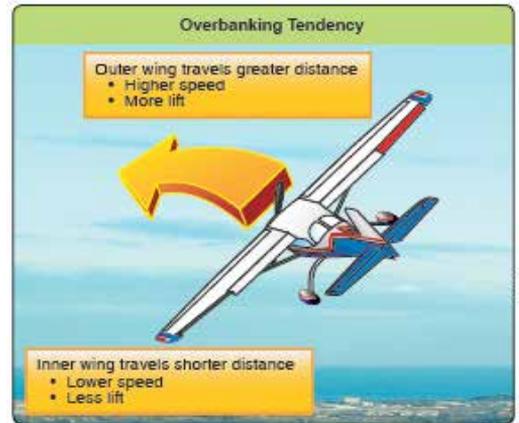
Jenseits von 60° fällt der Auftrieb noch dramatischer ab.

Um diesen „Auftriebsverlust“ auszugleichen, muss man „ziehen“. Je mehr man zieht, desto höher wird die G-Belastung. Kurvenflug hat etwas mit G-Belastungen zu tun. Diese treten immer auf, wenn ein Flugzeug seine Richtung oder seine Geschwindigkeit ändert – aber auch nur dann! G-Belastungen sind wichtig, denn wenn sie zu groß werden, können sie die Struktur eines Flugzeugs beschädigen – egal in welche Richtung die G-Belastung wirkt! G-Belastungen erhöhen die Stallgeschwindigkeit, wenn sie entgegengesetzt der Auftriebskraft als Gewichtskraft wirkt, weil eine höhere Gewichtskraft ceteris paribus eine höhere Geschwindigkeit erfordert, damit Auftrieb und Gewicht wieder im Equilibrium sind – aber auch nur dann! Die oft strapazierte Erhöhung der Stallgeschwindigkeit ist rechnerisch nur korrekt, wenn diese Kurve auch sauber geflogen wird – weiß das jeder? Das sollte man aber wissen.

Die Mär von der Overbanking-Tendency

Eng verwandt mit der Mär, ein Rollwinkel allein könne G-Belastungen erzeugen, ist die Mär der „Overbanking“-Tendenz bei höheren Rollwinkeln. Insbesondere die FAA verbreitet diese Mär in ihrem „Airplane Flying Handbook“ und behauptet, dass mit zunehmendem Rollwinkel die Querlage mit entgegengesetztem Querruderausschlag abgestützt werden muss, damit das Flugzeug nicht durchrollt. Begründet wird das mit der höheren Geschwindigkeit des kurvenäuße-

ren Flügels und dem damit höheren Auftrieb des kurvenäußeren Flügels, der damit die laterale Stabilität übersteuert.



Overbanking-Tendency

Quelle: FAA

Die FAA unterscheidet dabei:

- flache Kurven (shallow turns) mit einem Rollwinkel $< 20^\circ$,
- mittlere Kurven (medium turns) zwischen 20° und 45° ,
- Steilkurven (steep turns) mit $> 45^\circ$ Rollwinkel.

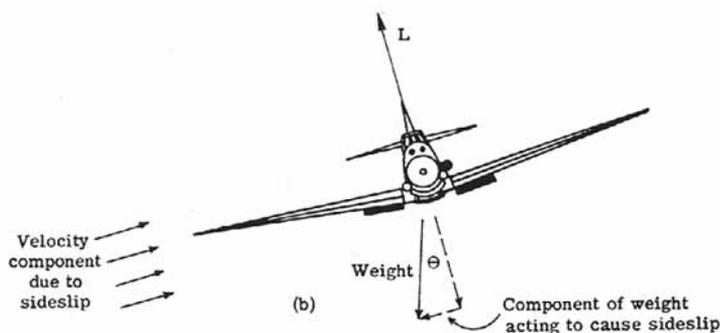
Die FAA behauptet nun, dass bei flachen Kurven die eingebaute Rollstabilität ausreicht, diese „Overbanking-Tendency“ zu kompensieren, bei größeren Rollwinkeln aber durchschlage und mit dem Querruder abgestützt werden müsse, weil der kurvenäußere Flügel durch seine höhere Geschwindigkeit ein Rollmoment erzeuge.

Das mag man so erleben – flugphysikalisch begründen lässt sich das so nicht!

Beginnen wir mit der **Eigenstabilität**: Richtig ist, dass Flugzeugkonstrukteure mit verschiedenen Maßnahmen die Eigenstabilität ei-

nes Musters erhöhen können. Dazu gehört die V-Stellung des Tragflügels – englisch Dihedral genannt –, mit der Rollstabilität erzeugt wird. Hebt eine Böe den Tragflügel auf einer Seite an und rollt das Flugzeug auf die Seite, ändert auch der Auftriebsvektor seine Richtung. Dadurch entsteht eine Gewichtskraftkomponente, die das Flugzeug zur Seite und nach unten rutschen lässt (Sideslip). Durch dieses Rutschen werden der herabhängende Flügel und das Seitenleitwerk seitlich angeblasen und dies erzeugt durch die V-Stellung der Flügel eine aufrichtende Kraft. Durch diese konstruktive Maßnahme gewinnt das Flugzeug eine Eigenstabilität, die den Piloten entlastet.

Aufgabe des Konstrukteurs ist es nun, eine V-Stellung zu wählen, die den Piloten bei kleineren Störungen entlastet und die nur bei größeren Störungen ein Eingreifen notwendig macht. Eine Komfortfunktion für den Piloten also. Ein Nachteil dieser Maßnahme ist, dass das Flugzeug ungesteuert nicht ganz sauber fliegt. Denn genau besehen rutscht ein Flugzeug ungesteuert immer etwas nach links oder nach rechts von einem imaginären Luftkissen. Denn die Eigenstabilität wirkt erst, wenn das Flugzeug seitwärts rutscht.



Dihedral-Effekt beim „Rutschen“

Beim Kurvenfliegen ist „Rutschen“ aber nicht erwünscht! Bei einer koordinierten Kurve sollten Kurvengeschwindigkeit und Schräglage so aufeinander abgestimmt sein, dass das Flugzeug weder in die Kurve rutscht noch aus der Kurve herausgetragen wird. Fliegt man also Kurven koordiniert, gibt es keinen Dihedral-Effekt! Es ist also nicht so, dass bis 20° Bank der Dihedral-Effekt wirkt und darüber hinaus nicht! Der Dihedral-Effekt hängt nicht vom Rollwinkel ab – er hängt davon ab, ob das Flugzeug in der Kurve „rutscht“ oder nicht. Bei koordinierten Kurven gibt es keinen Dihedral-Effekt. Da hat die FAA wohl was verwechselt.

Noch verheerendere Auswirkungen hat die Vorstellung, dass der Rollwinkel die Drehgeschwindigkeit um die Hochachse steuert. Richtig ist, dass eine **Drehung um die Hochachse** die relative Geschwindigkeit der beiden Tragflächen verändert und damit auch die Symmetrie des Auftriebs. Jeder Pilot hat gelernt, dass man eine hängende Tragfläche durch einen Tritt in das Seitenruder anheben kann. Gerade im Langsamflug ist diese Technik angesagt, weil man durch Querrudereinsatz einen einseitigen Strömungsabriss provozieren könnte. Per Seitenruder kann man eine Drehung um die Hochachse bewirken, die den hängenden Flügel beschleunigt, dadurch dort einen höheren Auftrieb erzeugt, der dann im Ergebnis zu einer Rollbewegung führt.

Nicht richtig ist aber bereits, dass man über den Rollwinkel die Drehgeschwindigkeit des Flugzeugs bestimmen kann. Die Drehgeschwindigkeit (ROT¹²) hängt noch von der Fluggeschwindigkeit ab, wie man aus der bekannten Formel für die Drehgeschwindigkeit sehen kann:

$$\text{ROT} = \frac{1,091 \times \text{tangent of the bank angle}}{\text{airspeed (in knots)}}$$

Quelle FAA¹³

Der Rollwinkel allein reicht nicht, die Drehgeschwindigkeit zu bestimmen. Ein Kleinflugzeug, das mit 70 Knoten fliegt und eine Kurve mit einem Rollwinkel von 60° einleitet, erzielt eine Winkelgeschwindigkeit von 27°/sec. Ein Starfighter, der ebenfalls eine Kurve mit 60° Bank fliegt, aber 450 Knoten schnell ist, erzielt lediglich eine Winkelgeschwindigkeit von 2,5°/sec. Gleicher Rollwinkel führt also nicht zu gleicher Drehgeschwindigkeit.

Selbst wenn der Rollwinkel allein die Drehgeschwindigkeit bestimmen würde, würde das noch lange nicht bedeuten, dass der Rollwinkel die Auftriebsdifferenz zwischen den Tragflächen bewirkt. Der Auftriebsunterschied zwischen den beiden Tragflächen hängt nämlich auch noch von der Spannweite ab. Ein Flugzeug mit großer Spannweite hat bei gleicher Drehgeschwindigkeit eine größere Auftriebsdifferenz, da die Bahngeschwindigkeit der Tragflächenenden einfach größer ist und dadurch mehr Auftrieb erzeugt.



Solar-Impulse auf der Startbahn Quelle: GDV

Deshalb haben langsame Flugzeuge mit großen Spannweiten schnell ein Stabilitätsproblem. Prominentes Beispiel ist die Solar-Impulse des Luftfahrtpioniers Bertrand Picard, die wegen ihrer extremen Spannweite von fast 72 Metern und einer Reisegeschwindigkeit unter 40 Knoten selbst bei geringen Rollwinkeln leicht instabil wird.

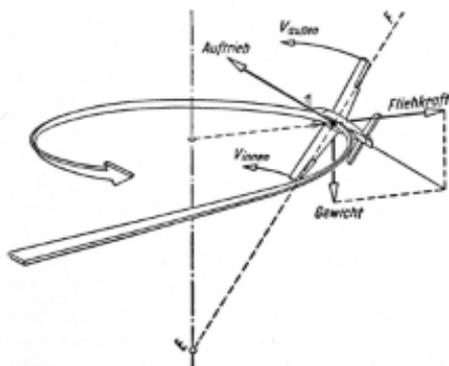
Schließlich kann es flugmechanisch nicht sein, dass die Overbanking-Tendency jenseits von 45° Bank zunimmt. Es ist schon vorstellbar, dass dann ein höheres Rollmoment auftritt, aber dieses Rollmoment kann nicht seriös mit Auftriebsdifferenzen zwischen den Tragflächen erklärt werden.

Der Fehler der FAA ist, dass sie nicht zwischen der Drehgeschwindigkeit des Flugzeugs und der Drehgeschwindigkeit um die Hochachse unterscheidet. Selbst wenn man annimmt, dass die Drehgeschwindigkeit des Flugzeugs vom Rollwinkel bestimmt wird, bedeutet das noch nicht, dass die Drehgeschwindigkeit des Flugzeugs mit der Drehgeschwindigkeit um die Hochachse identisch ist.

Je nach Rollwinkel teilt sich nämlich der Drehwinkel des gesamten Flugzeugs in eine Komponente um die Hochachse und eine Komponente um die Querachse auf. Bei flachen Rollwinkeln entspricht die Dreh-

12) Rate of Turn

13) FAA, Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, 2008, S. 4-34



Drehgeschwindigkeiten beim Steilkreis

geschwindigkeit des Flugzeugs weitgehend der Drehgeschwindigkeit um die Hochachse. Mit zunehmendem Rollwinkel verlagert sich die Drehgeschwindigkeit jedoch zunehmend auf die Querachse, um bei 90° eine ausschließliche Drehgeschwindigkeit um die Querachse zu werden. Im Messerflug gibt es keine Drehung um die Hochachse mehr und damit auch keine Geschwindigkeitsunterschiede mehr zwischen den Tragflächen. Beide Tragflächen fliegen dann parallel zur Hochachse mit gleicher Geschwindigkeit.

Nach der Theorie der FAA müsste die Drehgeschwindigkeit um die Hochachse mit zunehmendem Rollwinkel anstiegen – sie nimmt aber mit zunehmendem Rollwinkel ab. Bei 45° verteilt sich die Drehgeschwindigkeit zu gleichen Teilen auf die Hochachse und die Querachse; jenseits von 45° wächst der Anteil der Querachse an der Drehgeschwindigkeit. Die Overbanking-Tendency ist eine Erfindung der FAA, die einer physikalischen Überprüfung nicht standhält.

Zu diesem Schluss kommt auch Prof. Daidzic von der Minnesota State University. Daidzic stellt in einem Artikel in dem renommierten

Journal of Aviation Technology and Engineering fest, dass „Overbanking-Tendency“ in der gesamten Fachliteratur zu Stability and Control ein völlig unbekannter Begriff ist und auch die Bauvorschriften keinerlei Tests für die Flugdynamik bei hohen Rollwinkeln vorschreiben.¹⁴ Es ist also wirklich eine Mär, die die FAA da verbreitet.

Die FAA hat natürlich Recht, dass man in der Praxis häufig den Eindruck hat, man müsse in steilen Kurven stärker gegensteuern, um eine eingenommene Schräglage zu halten. Aber das hängt wohl eher mit dem Verlust der Rolldämpfung zusammen. Bekanntlich verfügen Flugzeuge konstruktiv über ei-

14) Daidzic N., A Contribution Toward Better Understanding of Overbank Tendency in Fixed-Wing Aircraft, Journal of Aviation Technology and Engineering, 4:2, 2015, S. 2–19



Messerflug

Quelle: Flyingmag

ne Rolldämpfung, weil der niedergehende Flügel durch die Vertikalkomponente der anströmenden Luft einen höheren Anstellwinkel erfährt und dadurch einen höheren Auftrieb erzeugt, der wiederum das Rollmoment verringert.¹⁵ Fliegt ein Flugzeug aber mit höherer G-Belastung, erhöht sich die Stallgeschwindigkeit und der Flügel kann in den Bereich der Auftriebspolare kommen, wo eine Erhöhung des Anstellwinkels nicht mehr zu einer Erhöhung des Auftriebsbeiwerts führt und der Effekt der Rolldämpfung abnimmt oder gar in eine Rollverstärkung umschlägt. Vielleicht ist das gemeint und vielleicht ist das die Erfahrung, die die FAA mit ihrem selbstgebastelten Konzept einer Overbanking-Tendency erklären wollte.

Overbanking kann also passieren. Aber nicht, weil der Rollwinkel zu Geschwindigkeitsdifferenzen der Tragflächen führt und großer Rollwinkel zu großer Auftriebs-Asymmetrie führt. So einfach ist es nun doch nicht.

Mehr Wissen tut not!

Flugphysik ist kenntnisreich und kann erhellend sein, ist aber meist zu komplex, um Phänomene auf einen einzigen Faktor zurückführen zu können. Deshalb ist auch der Versuch, Gefährdung auf Pitch und Bank zurückzuführen und über Grenzwerte festzumachen, von vornherein zum Scheitern verurteilt. So wichtig Pitch und Bank auch für die operationelle Fliegerei sind – man kann Gefährdungsbeurteilungen nicht auf diese Parameter reduzieren. Selbst wenn man in

der Praxis damit „durchkommt“, schafft das ein falsches Bewusstsein und ein falsches Verständnis in den Köpfen von Piloten. Es ist richtig, Piloten nicht nur für den Normalfall zu trainieren, sondern sie auch an das Verhalten eines Flugzeugmusters an den Grenzen der Envelope heranzuführen. Aber dafür muss man auch die Theorieausbildung komplexer gestalten. Es reicht nicht, warnend den Finger zu heben oder einzelne Fälle zu behandeln – wer Grenzzustände verstehen will, muss auch tiefer in flugphysikalische Zusammenhänge einsteigen. Da reicht der normale Theoriestoff nicht mehr.



Denn das ist die Schwäche der AUPTRA-Bibel und der meisten Veröffentlichungen zum Thema „Upset“. In diesen Dokumenten wird fleißig zusammengetragen, was alles einen „Upset“ verursachen kann und was man dabei falsch machen kann. Aber vom Tiefgang her geht das nicht über den Stoff der ATPL-Ausbildung hinaus. Wer erst jetzt lernt, dass Eisansatz das aerodynamische Verhalten beeinflussen kann, oder jetzt erstmals realisiert, dass in der Nähe von Gewittern Scherwinde auftreten können, sollte nicht länger Verkehrsflugzeuge steuern, sondern sich erst einmal ausreichend Grundkenntnisse erwerben. Und den übrigen Piloten hilft man auch nicht, wenn

¹⁵ Zur Rolldämpfung siehe: Was ist der „Stall“, *Pilot und Flugzeug*, 2016/06, Se. 76-101

man Stoff immer nur wieder repetiert. Das langweilt nur.

Ich gebe gerne zu, dass man bei der Suche nach weiterführender Literatur schnell frustriert wird, weil die gängige Fachliteratur meist erhebliche mathematische Kenntnisse erfordert. Das erschwert den Zugang. Der Grund dafür ist, dass es sich bei Aerodynamikern oft um Mathematiker handelt, die es gewohnt sind, Phänomene mathematisch zu beschreiben und mathematisch zu kommunizieren. Das wird man auch nicht leicht ändern können, weil die Mathematik in der Wissenschaft – zu Recht – eine hohe Reputation genießt und Wissenschaftler, die komplexe Zusammenhänge in komplexer Mathematik darstellen können, angesehen sind.

Aber es gibt auch andere Literatur. So ist das Skript von Bill Crawford zu „Unusual Attitudes and the Aerodynamics of Maneuvering Flight“¹⁶ zu diesem Thema sehr lesenswert und er kommt auch bei der Beschreibung komplexerer Zusammenhänge ohne größere mathematische Referenzen aus. Das kann auch jemand verstehen, der keine höhere mathematische Ausbildung hat. Wer aber noch tiefer einsteigen will, kommt irgendwann nicht daran vorbei, sich das notwendige mathematische Rüstzeug anzueignen.

Das wäre ein Weg, den die Luftfahrtbehörden beschreiten sollten: Statt Flugphysik in unzulässig einfache Schemata zu pressen, sollte man die theoretische Ausbildung vertiefen – zumindest, wenn es um die Erklärung komplexer Grenzzustände geht. Ich plädiere schon seit Jahren da-

für, die Ausbildung von Verkehrspiloten zu akademisieren, weil die Komplexität der Systeme heute vertiefte Kenntnisse in Flugdynamik, aber auch in Regelungstechnik und Informationstechnologie erfordern, die über das bisherige Niveau der ATPL-Theorieausbildung hinausgehen. Es ist aus meiner Sicht völlig unzureichend und eher ein Witz, dass für die ATPL-Theorieausbildung zu „Principles of Flight“ gerade einmal 30 Stunden vorgesehen sind.¹⁷ Das mag für die Ausbildung eines Freizeitpiloten reichen, aber doch nicht für einen Profi, der mit diesem Wissen große Verkehrsflugzeuge pilotieren soll. Verkehrspiloten steuern heute hochautomatisierte Flugzeuge, die voller komplexer Systeme sind – ohne in der Ausbildung auch nur eine Unterrichtsstunde zu Grundlagen der Regelungstechnik und der Informationstechnologie gehört zu haben!

Wenigstens Theorielehrer sollten über eine Hochschulausbildung verfügen, wie das im schulischen Bereich seit Langem üblich ist. In der Theorieausbildung für Flugkapitäne ist das nicht so: Wer einen ATPL hat und die üblichen 30 Unterrichtsstunden „Principles of Flight“ gehört hat, darf mit diesem Wissen auch unterrichten, sofern er noch eine Lehrprobe besteht! Das ist ja so, wie wenn man Abiturienten die Lehrerlaubnis über alle Unterrichtsfächer der Gymnasialstufe erteilen würde, sofern sie das Abitur bestanden haben und noch eine Lehrprobe absolviert haben.

Aber statt in Bildung und vertiefende Ausbildung zu investieren, geht man den Weg, Piloten einfache Faustformeln mit auf den

16) www.flightlab.net

17) AMC and GM to Part FCL, S. 498

Weg zu geben. Das halte ich nicht mehr für angemessen, weil die Erfahrung aus Unfallberichten zeigt, dass Piloten einfach nicht mehr weiter wissen, wenn die Faustformeln nicht erwartungsgemäß wirken. Dann werden Besatzungen plötzlich völlig hilflos!

Es erscheint mir auch kontraproduktiv, Piloten, Airlines und Behörden mit immer neuen Veröffentlichungen zu bombardieren und sie in einer Dokumentenflut ertrinken zu lassen. Im Zeitalter des „Copy & Paste“ wird es üblich, Handbücher zu erstellen, die nur noch Materialsammlungen voller Redundanzen sind. Je mehr, desto besser stimmt aber nicht, weil diese Dokumente auch gelesen und verstanden werden müssen. Mit zunehmender Informationsflut vergrößert sich die Gefahr, dass Dokumente nicht sorgfältig genug gelesen und/oder nicht wirklich verstanden werden.

Dass davon nicht nur Piloten, sondern auch Behördenmitarbeiter betroffen sind, zeigt ein Beispiel, das *Pilot und Flugzeug* selber erfahren musste, als es darum ging, Ausbildungshandbücher genehmigen zu lassen: UPRT¹⁸ wird heute vielfach mit Flugsimulatoren gemacht, weil man solche Übungen natürlich nicht im Linienbetrieb machen kann. Fluglinien verfügen aus diesem Grund über eine Flotte von Flugsimulatoren, die man ohnehin für „Type-Training“ und „Recurrent Training“ braucht. Da liegt es nahe, Flugsimulatoren auch für UPRT einzusetzen.



Flugsimulatoren

Quelle: CAE

Das kann man machen. Jedoch sind gebräuchliche Flugsimulatoren lediglich für die Simulation des Normalbetriebs inkl. Abnormal- und Emergency-Procedures ausgelegt, aber sie sind nicht in der Lage, das Flugverhalten in Grenzzuständen abzubilden. Das will man zwar verbessern, aber für das Gros der im Einsatz befindlichen Flugsimulatoren gilt, dass sie für UPRT nicht gerüstet sind. Aus Kenntnis dieser Situation heraus sind die „Upset“-Handbücher voller Anhänge und Hinweise, in denen auf diese Beschränkungen hingewiesen wird und Instrukturen ermahnt werden, die damit verbundenen Einschränkungen bei Übungen ja zu beachten. Aus Sorge, dass diesen Einschränkungen nicht genügend Aufmerksamkeit gewidmet wird, nehmen Flugsimulatoren in den Handbüchern

18) Upset Prevention and Recovery Training

einen beachtlichen Raum ein. Bei oberflächlicher Betrachtung kann dadurch der Eindruck entstehen, dass Flugsimulatoren für UPRT wichtig sind – weil ihnen so viel Raum gewidmet ist. Die heutige „Fidelity“ moderner Flugsimulatoren liefert dazu auch ihren Beitrag: Die Cockpits der Simulatoren sind so originalgetreu und die Grafik der Projektoren ist so eindrucksvoll, dass man gar nicht glauben mag, dass diese Simulatoren von Algorithmen betrieben werden, die in Grenzzuständen nur auf einfache Extrapolationen von Normalzuständen zurückgreifen. Wer nur den Aspekt sieht, dass Simulatoren sicherer und effektiver sind, verkennet die Gefahr, wenn man „Validity“ mit „Fidelity“ verwechselt.

So ist es wohl auch dem Behördenmitarbeiter ergangen, der aus der Lektüre den überraschenden Schluss zog, dass UPRT **nur** auf Flugsimulatoren durchgeführt werden könne, weil alles andere zu riskant sei. Er wusste sich dabei wohl in Übereinstimmung mit großen Fluglinien, die UPRT tatsächlich überwiegend auf Simulatoren abwickeln. Daraus folgerte er: Was für Fluglinien gut ist, das wird auch für andere gewerbliche Betreiber gut sein. Aus dieser Annahme entwickelte er die Forderung, dass auch das UPRT für eine Cheyenne auf einem Simulator zu erfolgen habe. Dem Einwand, dass es für eine Cheyenne keine brauchbaren Simulatoren gebe, begegnete er mit dem Vorschlag, dann doch ein Muster anzuschaffen, für das es Simulatoren gebe ...

Ganz offensichtlich war ihm die Vorstellung unheimlich, dass man auch mit einem realen Flugzeug reale Manöver fliegen kann, die reale Erfahrungen vermitteln, die den

Erfahrungen mit Flugsimulatoren nicht unterlegen sind. Soweit sind wir schon! Das wäre, um im Eingangsbild zu bleiben, als würden die Behörden verfügen, dass man Autobahnabfahrten nur noch im Fahr Simulator befahren darf.

Wir konnten ihn schließlich überzeugen, dass auch reale Flugzeuge geeignet sind, reale Erfahrungen zu vermitteln. Zu seiner Ehrenrettung ist auch anzufügen, dass man zur Beurteilung der Frage, für welche Manöver welcher Flugsimulator geeignet ist, tiefgreifende Kenntnisse in Flugphysik benötigt; man muss wissen, wie die Bewegungsgleichungen implementiert wurden und aus welchen Quellen die Parameter sind, die die Variablen versorgen. Das ist schon sehr komplex.

Aber genau deshalb brauchen wir in der Verkehrsfliegerei mehr Bildung statt mehr Vereinfachung. Das Wissen muss ja nicht gleich verteilt sein. Zumindest Fluglehrer sollten in der Flugphysik soweit zu Hause sein, dass sie nicht nur einfache Erklärungen vermitteln können, und bei Luftfahrtbehörden sollte genug fachliche Kompetenz vorhanden sein, dass ihre Veröffentlichungen keine gravierenden Fehler enthalten.

 Bernd.Hamacher@pilotundflugzeug.de