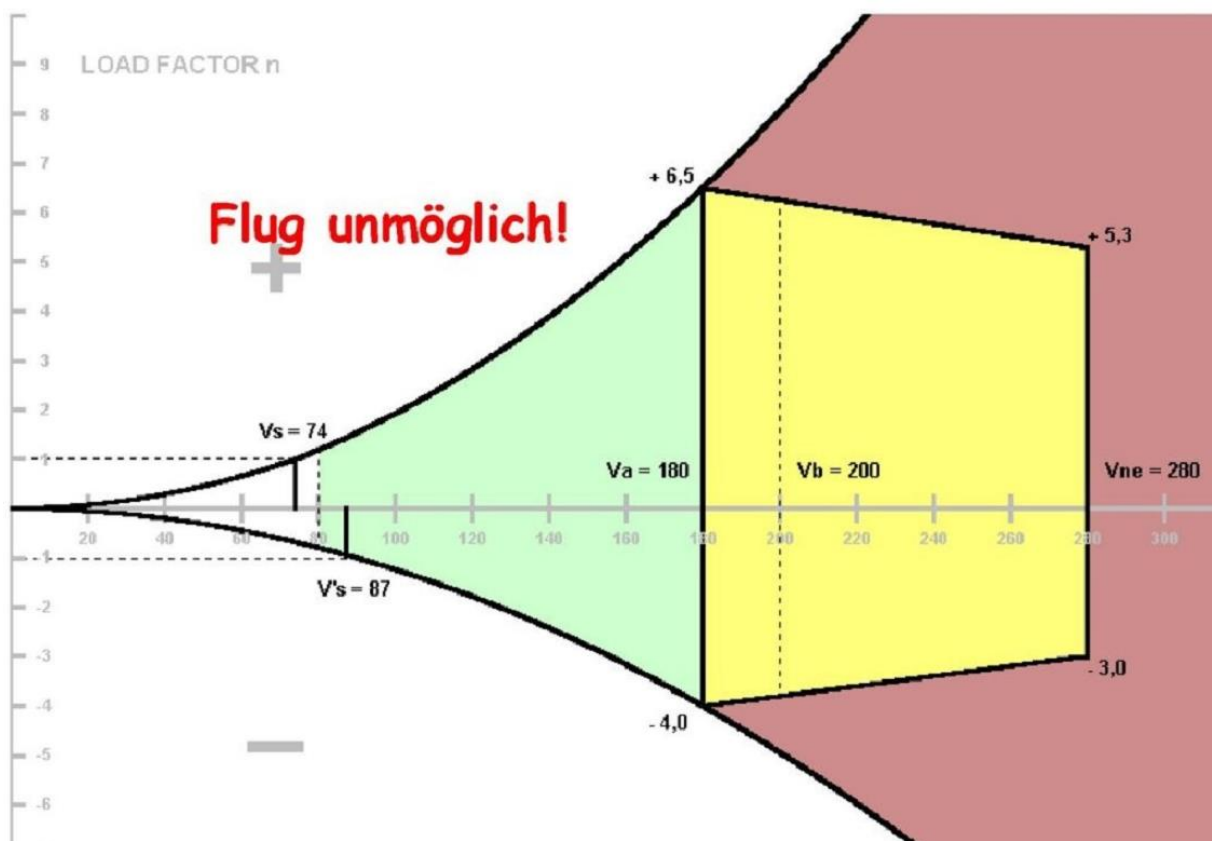


Betriebsgrenzen unserer Kunstflugzeuge und Notverfahren

Jeder Pilot sollte die Betriebsgrenzen seines Flugzeugs kennen. Ganz besonders im Kunstflug, bei dem man immer wieder an die Grenzen der Belastbarkeit herankommt.

1. Flugbereich (V-n-Diagramm)

Unter Flugbereich (engl. Flight Envelope) versteht man die Grenzen der zulässigen Geschwindigkeiten und Lastvielfachen eines bestimmten Flugzeugmusters. In der grafischen Darstellung werden die Geschwindigkeiten (V) auf der x-Achse und die Lastvielfache (n) auf der y-Achse eines Diagramms aufgezeichnet, weshalb dieses V-n-Diagramm heisst. Hier das entsprechende Diagramm der ASK 21:



Die Lastvielfachen sind Vielfache des maximalen Fluggewichts.

Die Geschwindigkeiten sind angezeigte Geschwindigkeiten (IAS) in Meereshöhe.

Die Vorderkante des Diagramms sind zwei Parabeln. Das sind die Auftriebskurven, die sich aus der Gleichung $A = v^2 \cdot F \cdot C_a \cdot 1/2 \cdot D$ ergeben.

Dabei sind:

A = Auftrieb = Gewicht (daN)

V = Geschwindigkeit (m/s)

F = Flügelfläche (m^2)

C_a = Auftriebsbeiwert (dimensionslos)

D = Luftdichte (g/m^3)

Links von diesen Kurven ist kein stationärer Flug möglich. Bei der Mindestgeschwindigkeit V_s ist der Auftrieb gerade so gross wie das Gewicht. Das bedeutet, bei dieser

Geschwindigkeit fliegt das Flugzeug gerade noch mit +1g. Soll mit doppelter Last, also +2g geflogen werden, muss die Fahrt auf $V_S \cdot \sqrt{2}$ erhöht werden.

Das sichere Lastvielfache n_1 (hier +6,5) kann bei einer Fahrt von mindestens $V_S \cdot \sqrt{n_1}$ gezogen werden. Diese Geschwindigkeit ist die Manövergeschwindigkeit V_A .

Bis zur V_A kann ich volle Steuerausschläge geben, ohne das Flugzeug zu überlasten, denn bevor das sichere Lastvielfache erreicht wird, reisst die Strömung ab. Im Diagramm liegt die V_A dort, wo die Auftriebsparabel die Linie für das sichere Lastvielfache schneidet. Das gilt selbstverständlich auch für die Überlagerung von Manöver- und Böenlasten. Unterhalb der V_A kann auch bei gleichzeitiger Abfang- und Böenlast das sichere Lastvielfache nicht überschritten werden. Deshalb geht bei nahezu allen Segelflugzeugen der grüne Bereich am Fahrtmesser bis zur V_A .

Oberhalb der V_A sind keine vollen Steuerausschläge erlaubt, weil dadurch die Struktur überlastet würde. Von der V_A bis zur Höchstgeschwindigkeit gehen die maximal zulässigen Steuerausschläge linear auf ein Drittel der Vollausschläge zurück.

Wie sind die sicheren Lastvielfache definiert?

Der Konstrukteur dimensioniert das Flugzeug für eine bestimmte Bruchlast. Diese Last muss die Struktur im Bruchversuch für mindestens 3 Sekunden aushalten. Für Segelflugzeuge gilt grundsätzlich ein Sicherheitsfaktor $j = 1,5$. Bei Kunststoffflugzeugen, die ja temperaturempfindlich sind, ist er $j = 1,725$ bei +54 °C. Die Bruchlast geteilt durch den Sicherheitsfaktor ergibt die "sichere Last".

Für die Berechnung der Festigkeit wird immer das höchstzulässige Fluggewicht zugrunde gelegt. Im unbeschleunigten Flug wird die Struktur mit dem einfachen Gewicht belastet. Wird das Flugzeug einer Beschleunigung von z.B. +5 g ausgesetzt, so ist das Lastvielfache +5. Die Struktur muss dann das fünffache Gewicht tragen.

Die EASA-Bauvorschrift CS 22 kennt für Segelflugzeuge zwei Zulassungskategorien:

- U = Utility mit sicheren Lastvielfachen von +5,3 und -2,65 bei V_A . Das sind alle "normalen" Segelflugzeuge.
- A = Aerobatic mit mindestens +7 und -5 über den gesamten Geschwindigkeitsbereich bis zur V_{NE} .

Es ist ein verbreiteter Irrglaube, dass die Kategorie A automatisch bedeutet, dass damit "unbeschränkter" Kunstflug erlaubt wäre. Nach CS 22 muss auch bei einem Segelflugzeug der Kategorie A jedes Kunstflugmanöver im Flugversuch nachgewiesen werden. Das bedeutet, auch mit einem Segelflugzeug der Kategorie A dürfen nur die Manöver geflogen werden, die im Flughandbuch als erlaubte Manöver aufgelistet sind.

Für die Zulassung wird eine Höchstgeschwindigkeit definiert, die für Kunstflugzeuge mindestens $3,5 \cdot G/F + 200$ km/h betragen muss. Diese "design speed" V_D muss im Flugversuch flatterfrei nachgewiesen werden.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit V_{NE} für "never exceed" wird danach auf einen Wert von höchstens 90% der V_D festgelegt. Wie man sieht, liegt zwischen der V_{NE} und der Flattergrenze oft nur ein knapper Sicherheitsabstand.

Da das Flatterverhalten nicht von der angezeigten Geschwindigkeit (IAS) sondern der Equivalent Airspeed (EAS) bestimmt wird, ist die V_{NE} höhenabhängig. Deshalb muss in grösserer Höhe die angezeigte Geschwindigkeit zurückgenommen werden (siehe Tabelle im Flughandbuch).

Beim Flug in Turbulenz addieren sich die Böenlasten zu den Manöverlasten. Deshalb gibt es die Höchstgeschwindigkeit für Flug in starker Turbulenz, V_B . Sie liegt dort, wo die Linie für eine Vertikalbö von 15 m/s die Linie des maximalen positiven Lastvielfachen schneidet. In starker Turbulenz, z.B. im Föhn, darf mit dem betreffenden Flugzeug nicht schneller geflogen werden.

Im Segelkunstflug ist der Begriff "Rolling G" nur den Wenigsten vertraut. Hier geht es um gleichzeitige Querruderausschläge bei Abfangbelastungen. Durch einen Querruderausschlag wird die Auftriebsverteilung über die Spannweite verändert. Wo das QR nach abwärts ausgeschlagen ist, vergrössert sich der Auftrieb und umgekehrt. Das heisst, bei gleichzeitigem QR-Ausschlag und Abfanglasten wird die Flügelstruktur asymmetrisch belastet. Die Lastvielfache gelten jedoch grundsätzlich für symmetrische Lasten und die Seite mit abwärts ausgeschlagenem QR kann möglicherweise überlastet werden, obwohl das sichere Lastvielfache nicht überschritten wurde. Gemäss CS 22 kann die sichere Last mit vollem QR-Ausschlag bei V_A oder $1/3$ Vollausschlag bei V_{NE} auf $2/3$ der sicheren Last bei symmetrischer Belastung reduziert sein. Mit anderen Worten: Beim Abfangen mit gleichzeitig ausgeschlagenem QR kann das Flugzeug bereits erheblich unterhalb des sicheren Lastvielfachen überlastet werden!

2. Einfluss der Schwerpunktlage

Der zulässige Schwerpunktbereich eines bestimmten Flugzeugmusters ist Teil der Musterzulassung. Ausserhalb des zulässigen Schwerpunktbereichs darf das Flugzeug keinesfalls betrieben werden. Dafür gibt es einen Trimmplan, der bei jedem Flugzeug im Cockpit an geeigneter Stelle angebracht ist. Der Trimmplan basiert auf der Schwerpunktberechnung, die anhand der aktuellen Wägung erstellt wurde.

Wie jeder aus dem Theorieunterricht weiss, hat die Schwerpunktlage grossen Einfluss auf die Flugeigenschaften. Für den Streckenflug wird eine möglichst weit rückwärtige Schwerpunktlage bevorzugt, mit der die Gleitleistung am besten ist. Gleichzeitig wird aber das Überziehverhalten umso kritischer, je weiter der Schwerpunkt nach rückwärts verlegt wird. Die Trudelnäigung eines Flugzeugs mit rückwärtiger Schwerpunktlage ist signifikant grösser als mit normaler oder kopflastiger Einstellung. Bei der ASK 21 muss durch besonderen Heckballast der Schwerpunkt nach rückwärts verlegt werden, um mit diesem Flugzeug überhaupt trudeln zu können. Dazu gibt es im Flughandbuch eine Tabelle, nach der das zulässige Gewicht des Heckballasts zu bestimmen ist.

Nicht nur die Trudleigenschaften werden durch die Schwerpunktlage beeinflusst, sondern das Verhalten des Flugzeugs in nahezu allen Kunstflugfiguren. Die Steuertechnik im Kunstflug ist so individuell wie die Handschrift und jeder Pilot sollte sich die für seinen Flugstil optimale Schwerpunktlage selbst erfliegen.

3. Notverfahren

Beim Fliegen im Grenzbereich ist es kaum zu vermeiden, dass irgendwann eine Situation eintritt, bei der ein Überschreiten der Betriebsgrenzen droht. Hierzu gibt es bewährte Notverfahren, durch die das Flugzeug mit dem geringsten Risiko in den Normalflug zurück gebracht werden kann.

– Senkrechte Fluglage aufwärts

Die Geschwindigkeit nimmt rapide ab und wenn die Fluglage bis zum Stillstand beibehalten wird, kann ein Abrutschen über den Schwanz (Tailslide) erfolgen. Nur einige Kunstflugsegler sind für absichtliche Tailslides zugelassen. Sobald das Flugzeug im Rückwärtsrutschen Fahrt aufnimmt, können die Ruder ausgeweht werden und gewaltsam gegen die Begrenzungen schlagen. Ernste Schäden an den Ruderlagern und der Steuerung sind die mögliche Folge. Bei einem absichtlichen Tailslide blockiert der Pilot Seiten- und Querruder in der Neutralstellung während das Höhenruder voll gezogen oder gedrückt gehalten wird. Dadurch klappt das Flugzeug nach kurzem Rückwärtsrutschen entweder nach vorne (gezogen) oder nach rückwärts (gedrückt) in den Bahnneigungsflug um.

Ist das Flugzeug nicht für Tailslides zugelassen, müssen Quer- und Seitenruder nach der selben Seite auf Vollausschlag blockiert werden. Falls ein Flügel hängt selbstverständlich nach dieser Seite. Das Höhenruder wird voll gezogen blockiert. Das Flugzeug

klappt dann meistens zur Seite um. Sobald die Schnauze durch den Horizont fällt, werden alle Ruder auf neutral zurückgenommen und in die Normalfluglage abgefangen.

– Senkrechte Fluglage abwärts

Das Flugzeug nimmt rasant Fahrt auf und nähert sich der höchstzulässigen Geschwindigkeit. Der Sturzflug muss schnellstmöglich beendet werden, bevor die Höchstgeschwindigkeit überschritten wird.

In vielen Flughandbüchern wird für diesen Fall das sofortige Ausfahren der Bremsklappen empfohlen. Dabei ist aber zu beachten, dass bei hoher Fahrt erhebliche Luftkräfte auf die Klappen wirken und der Pilot bei Betätigung des Klappenhebels auf sehr grosse Handkräfte gefasst sein muss. Wird der Klappenhebel aus der Hand gerissen, besteht einerseits das Risiko, dass die Klappenmechanik beschädigt wird, andererseits kann der Pilot durch die plötzliche Verzögerung ins Gurtzeug geschleudert werden und sich verletzen. Ein weiterer Grund übrigens, warum man sich zum Kunstflug besonders sorgfältig anschnallen muss.

Unbedingt ist zu beachten, dass bei einigen Flugzeugmustern (z.B. ASK 21) das zulässige Abfanglastvielfache mit ausgefahrenen Bremsklappen stark reduziert ist. Bei diesen Flugzeugen sollten die Bremsklappen vor dem Abfangen wieder eingefahren und verriegelt sein.

Wird das Flugzeug aus dem Sturzflug ohne Bremsklappen mit dem maximal zulässigen Lastvielfachen abgefangen, ist in den meisten Fällen der Höhenverlust deutlich geringer als mit ausgefahrenen Bremsklappen. Deshalb wird dieses Verfahren von erfahrenen Kunstfliegern bevorzugt.

– Rückenflug und Rückenkurven

Geht in der Rückenlage die Orientierung verloren, ist der automatische Reflex jedes Kunstflanganfängers, den Knüppel anzuziehen um mit einem Abschwung aus der Rückenlage heraus zu kommen. Dass diese Reaktion fatale Folgen haben kann, liegt auf der Hand.

Wird das Flugzeug bei erheblich mehr als der Mindestgeschwindigkeit aus dem Rückenflug nach unten durchgezogen, wird sehr leicht die höchstzulässige Geschwindigkeit überschritten und weil in dieser Situation dann auch panikartig versucht wird abzufangen, meistens auch das Flugzeug extrem belastet. Mehrere tödliche Unfälle von Kunstflanganfängern waren die Folge dieses Fehlverhaltens. Bei einem derartigen "Bruchversuch", der sich vor einigen Jahren in D abspielte, wurde von der "Blackbox" eine maximale Belastung von +12g bei einer Geschwindigkeit von fast 350 km/h registriert. Der betreffende Pilot hatte jede Menge Glück. Solche Beanspruchungen halten nur die wenigsten Segelflugzeuge aus!

Muss aus irgendwelchem Grund schnellstmöglich aus dem Rückenflug in die Normallage zurück gesteuert werden, so ist dazu immer "nach oben" zu rollen. Hält man sich an die Devise "Knüppel zum Himmel" ist spätestens nach etwas mehr als 90° Rolle der Kopf oben und die Fluglage wieder vertraut. Seitenruder ist dazu nicht nötig, bei hoher Geschwindigkeit sogar riskant, weil durch den Seitenruderausschlag unzulässig hohe Torsionslasten auf die Rumpfröhre kommen können.

Diese Technik ist selbstverständlich auch anzuwenden, wenn in einer Rückenkurve die Schräglage zu gross wird und/oder die Fahrt wegläuft. Versucht man die Fahrt durch Drücken wieder zu reduzieren, entsteht eine Rücken-Steilspirale, die durch Drücken immer enger wird. Dabei nehmen die negativen g und die Fahrt immer weiter zu. Mit "Knüppel zum Himmel" kommt man auch aus dieser Situation auf schnellstem Wege zurück in die Normalfluglage.

- Notausstieg

Sollte das Flugzeug aus irgendwelchen Gründen nicht mehr steuerbar sein, bleibt der Notausstieg als einzige Rettungsmöglichkeit. Als Kunstflieger sollte man - genau wie jeder Pilot - mit den für das jeweilige Flugzeugmuster geltenden Verfahren für den Notausstieg voll vertraut sein und sich die immer wieder bewusst ins Gedächtnis rufen.

Falls der Notausstieg unvermeidbar wird, darf keine Zeit mit unnötigen Überlegungen oder Handgriffen verloren gehen. Der Zeitfaktor ist beim Notausstieg das alles entscheidende Kriterium. Unsere heutigen Segelflugzeuge erreichen im unkontrollierten Flug sehr hohe Sinkraten. Da wir uns im Kunstflug praktisch nur in Höhen unter 1500 m GND bewegen, bleiben für einen erfolgreichen Notausstieg nur wenige Sekunden.

Erschwerend kommt hinzu, dass es für die verschiedenen Flugzeugmuster kein einheitliches Verfahren für den Haubenabwurf gibt. Auch sind Sicherheitseinrichtungen wie z.B. der Röger-Haken, der eine zuverlässige Trennung des Capots vom Flugzeug sicherstellen soll, keineswegs an allen unseren Flugzeugen vorhanden.

Wollen wir unsere Chancen bei einem eventuellen Notausstieg verbessern, müssen wir die Verfahren für unser Flugzeug in allen Einzelheiten mental einüben und, wann immer möglich, auch praktische Übungen am Boden in Betracht ziehen.