

Fluggeschwindigkeiten

Unsauberes Fliegen erhöht ein mögliches Unfallrisiko

Quelle: Bericht aus AOPA-Letter 02/2007
Hans-Ulrich Ohl

Im englischen Sprachraum kennt man die Begriffe des „Precision Flying“ oder auch „Flying the Numbers“. Darunter versteht man nichts anderes, als das Einhalten ausgewiesener Fluggeschwindigkeiten bei der Anwendung bestimmter Flugmanöver. Wären Piloten grundsätzlich dazu bereit diese herstellerverbindlichen Fluggeschwindigkeiten gewissenhaft einzuhalten, viele Unfälle ließen sich mit Sicherheit vermeiden.

Das **V** kommt aus dem Englischen und steht für „Velocity“ oder zu deutsch „Geschwindigkeit“. Ob eine Umschulung oder nur ein Vertrautmachen auf dem Programm stehen, dieseusterspezifischen Sollwerte sind immer ganz weit oben auf der Prioritätenliste angesiedelt. Sie sind die absolute Gewähr für ein optimales, sicheres Umsetzen von erfliegenen Leistungsdaten für ein bestimmtes Flugzeugmuster. In aller Regel stellt das Einhalten dieser Flugparameter in der Praxis keine außergewöhnliche Hürde dar. Eine Reihe der Geschwindigkeiten sind direkt am Fahrtenmesser abzulesen (siehe Abbildung im Anhang).

V_{SO}

Da wäre als erstes die **V_{SO}**, also die Überziehgeschwindigkeit in Landekonfi-

guration, Triebwerk im Leerlauf, Auftriebs-hilfen und ggfs. Einziehfahrwerk ausgefahren, dargestellt auf dem Fahrtenmesser am unteren Ende des weißen Bogens. Was unter dem Begriff der Landekonfiguration zu verstehen ist, ist auch in den meisten Flughandbüchern hinreichend erläutert. Ein Unterschreiten dieser Fluggeschwindigkeit erfolgt normalerweise nur bei der Landung im Bodeneffekt, ohne dass es dabei zu einer kritischen Situation kommen kann. Tritt ein solcher Zustand während des Fluges auf, so muß sofort die Triebwerksleistung angemessen erhöht und unter gleichzeitigem moderaten Nachdrücken Fahrt aufgenommen werden, um einem möglichen Strömungsabriss entgegenzuwirken.

V_{S1}

An **V_{SO}** schließt sich **V_{S1}** am unteren Ende der grünen Fahrtenmesser-Markierung an. Sie kennzeichnet den Beginn der Überziehgeschwindigkeit für ein Flugzeug in der „sauberen Konfiguration“, also ebenfalls ohne Triebwerksleistung, jedoch den Auftriebshilfen und ggfs. dem Fahrwerk im eingefahrenen Zustand. Das Flugzeug befindet sich bei diesem Manöver in beiden Fällen in einem unbeschleunigten, geraden

Fluggeschwindigkeiten

Horizontalflug, wobei die Fluggeschwindigkeit bis zum Erreichen von V_{S0} oder V_{S1} mit einem Knoten pro Sekunde verzögert wird. Bei einer möglichen Querneigung oder Ziehen am Höhenruder würden automatisch zusätzliche g-Kräfte auftreten. Dies wiederum würde zu einer Verschlechterung der 1g-Konfiguration und zu einem schnelleren Erreichen der Abreißgeschwindigkeit führen. Bei einer Querneigung von beispielsweise 60° im Horizontalflug treten bereits erstaunliche 2g auf und verdoppeln das Gewicht von Flugzeug samt seiner Insassen. Die Abreißgeschwindigkeit eines jeden Flugzeuges erhöht sich also zwangsläufig bei zunehmender g-Belastung. Würde V_{S1} beispielsweise im unbeschleunigten, geraden Horizontalflug 50 Knoten betragen, so läge sie bei eben diesen 60° Querneigung etwa 20 Knoten darüber. diese Werte sind am Fahrtmesser optisch nicht ausgewiesen. Sie sind jedoch in aller Regel Bestandteil von Leistungsdatentabellen im Flughandbuch (POH → Pilots Operating Handbook), sofern es nach 1976 verfaßt worden ist.

Obwohl nicht Bestandteil der Fahrtmesseranzeige, sollten sie im Kopf eines Piloten jederzeit präsent sein. Gerade bei Kurvenflügen in der Platzrunde sollte peinlich darauf geachtet werden, dass es nicht zu einem Übersteuern mit größerer Querlagen kommt. Ein ungewollter Strömungsabriss in der Platzrunde (also in geringer Höhe!! [ergänzt von P.

Prskawetz]), führt in aller Regel in die Katastrophe.

V_{FE}

Am oberen Ende des weißen Bogens wird eine weitere, limitierende Fluggeschwindigkeit ausgewiesen. Sie steht für V_{FE} als „Maximum Flap Extended Speed“ und stellt die höchstmögliche Fluggeschwindigkeit für das Fliegen mit oder für das Ausfahren der Auftriebshilfen dar. Keinesfalls sollte je der Versuch unternommen werden, diese bereits bei höheren Fluggeschwindigkeiten auszufahren oder die ausgewiesenen Fluggeschwindigkeiten in dieser Konfiguration zu überschreiten. Beschädigungen des Antriebsmechanismus oder Klappenführungssystems könnten die Folge sein. Viel schlimmer wären jedoch unterschiedlich weit ausgefahrene Auftriebshilfen. Die Konsequenz einer solchen Situation wäre der Anfang vom Ende. Das dann auftretende Drehmoment um die Längsachse ist in aller Regel nicht mehr durch einen entsprechenden Querrudereinsatz auszugleichen. Bei einigen Flugzeugmustern ist es jedoch gestattet, die Auftriebshilfen bereits bei einer höheren Fluggeschwindigkeit in die 10° - oder 15° -Position auszufahren. Auf eine solche Möglichkeit muß einerseits durch ein entsprechendes Hinweisschild im Cockpit und in jedem Fall auch im Flughandbuch im Abschnitt „Betriebsgrenzen“ unter Hinweis auf die dann

Fluggeschwindigkeiten

zulässige Maximalgeschwindigkeit besonders hingewiesen werden.

V_{LO} und V_{LE}

Bei allen Flugzeugmustern mit Einziehfahrwerk sind zwei weitere Fluggeschwindigkeiten unbedingt zu beachten. Die sog. „Maximum Landing Gear Operating Speed“ V_{LO} definiert die obere Fluggeschwindigkeit für das Aus- oder Einfahren des Fahrwerks. Es soll damit verhindert werden, dass es zu einer mechanischen Überbeanspruchung während der Zustandsveränderung kommt. Der zweite limitierende Faktor ist V_{LE} , die „Maximum Landing Gear Extended Speed“. Sie dient vor allen Dingen dem mechanischen Belastungsschutz der Fahrwerkabdeckung und definiert die maximal mögliche Fluggeschwindigkeit bei einem ausgefahrenen Fahrwerk. Auch diese beiden Fluggeschwindigkeiten können nicht direkt an der Fahrtmesseranzeige abgelesen werden. Sie sind gleichwohl Bestandteil des Flughandbuchs und zwar ebenfalls im Abschnitt „Betriebsgrenzen“.

V_{NO} , V_{NE} und V_D

Der nun folgende Wert kann dann wieder direkt am Fahrtmesser erkannt und dort auch abgelesen werden. Es ist das obere Ende des grünen Farbbogens. Unter der Bezeichnung V_{NO} (Maximum Structural

Cruising Speed) oder auch als „Normal Operating Speed“ bekannt, weist er die maximale Reisefluggeschwindigkeit bei insgesamt ruhiger Luft aus. Dem folgt die gelbe Farbmarkierung zwischen V_{NO} und der roten Endmarke V_{NE} (Never Exceed Speed). In diesen Geschwindigkeitsbereich darf nur bei absolut ruhigen atmosphärischen Bedingungen geflogen werden, um eine mechanische Überlastung der Flugzeugzelle auszuschließen, während die rote Markierung am oberen Ende der gelben Farbmarkierung ein absolutes „NO GO“-Limit ausweist. Wer diese Markierung ignoriert, fliegt mit einem kaum noch zu kalkulierenden Risiko. Bereits geringste Luftturbulenzen können g-Kräfte auslösen, die weit über der ausgewiesenen mechanischen Belastungsgrenze liegen. Um sich aus einer solchen Situation zu befreien, muß zunächst die Triebwerksleistung vollständig zurückgenommen werden, um danach die Flugzeugnase sehr behutsam anzuheben. Danach gilt es, in den grünen Fahrtmesserbereich zurückzukehren.

Während der Flugerprobung ermitteln Testpiloten, ausgestattet mit Fallschirmen und abwerfbaren Flugzeugtüren, eine weitere kritische Fluggeschwindigkeit, die sog. V_D oder „Design Diving Speed“, aus der sich die „Design Cruising Speed“ V_C berechnen lässt. Bei dieser Fluggeschwindigkeit ist die Struktur eines Flugzeuges noch in der Lage, Böeneinflüsse von bis zu 15 m/sec zu verkraften. Die rote Markierung für V_{NE}

Fluggeschwindigkeiten

wird ermittelt, indem man V_D mit 0,9 multipliziert.

V_A

Auch eine weitere Fluggeschwindigkeit sollte unbedingt Berücksichtigung finden. Die V_A oder „Design Manoeuvring Speed“, bei der die Fluggeschwindigkeit eine gewisse Korrelation zum Fluggewicht aufweist. Wird bei dieser Geschwindigkeitsanzeige das Höhenruder plötzlich und kraftvoll durchgezogen, so kommt es zu einem Strömungsabriss, bevor das Lastvielfache des betreffenden Flugzeugmusters erreicht wird. Je schwerer ein Flugzeug beladen ist, umso größer wird die entsprechende V_A . Das erklärt sich aus den verschiedenen, unterschiedlich großen Anstellwinkeln, die eine Tragfläche einnehmen muß, um bei einer als konstant vorgegebenen Fluggeschwindigkeit eine gleich bleibende Auftriebskraft zu erzeugen. Ist nur eine V_A im Flughandbuch ausgewiesen, so bezieht sie sich merkwürdigerweise immer auf das maximale Abfluggewicht. Bei abnehmendem Fluggewicht würde sie sich zwar verringern, bliebe jedoch noch innerhalb eines tolerierbaren Bereichs. Für Flugzeuge mit hoher Zuladung werden deshalb gleich mehrere gewichtsabhängige V_A 's ausgewiesen, die umso kleiner werden, je leichter das Flugzeug wird.

Die jeweiligen Belastungsobergrenzen für Flugzeuge in der Kategorie „U“ (Utility

Aircraft → Nutzflugzeug) liegen bei 4,4 positiven und 2,2 negativen g's. Sind jedoch Fahrwerk und Auftriebshilfen ausgefahren, so verringert sich dieser Wert auf nur 2,0 positiv.

Wird ein Flugzeug in der Kategorie „N“ (Normal Aircraft → Normalflugzeug) betrieben, so liegen diese Werte bei 3,8 positiven und 1,9 negativen g's. Bei ausgefahrenen Auftriebshilfen und/oder Fahrwerk verringert sich dieser Wert ebenfalls auf 2,0 g positiv. Wird ein Flugzeug sowohl in den Kategorien „N“ und „U“ zugelassen, so verringert sich das maximale Abfluggewicht der „U“-gegenüber der „N“-Kategorie.

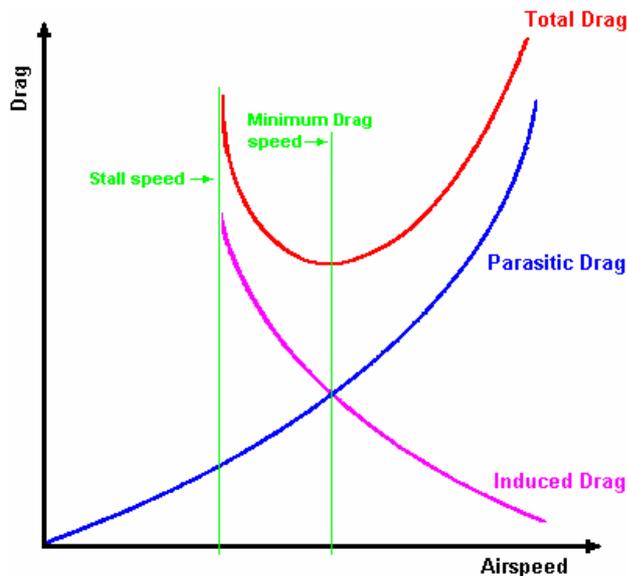
Gerät ein Pilot während eines Fluges in starke Turbulenzen, sollte er seine Fluggeschwindigkeit sofort auf V_A reduzieren, um kritische Belastungsbereiche zu meiden. Das ist besonders dann wichtig, wenn der Schwerpunkt im hinteren Bereich des Beladungsdiagramms liegt. Eine Kombination von Böen und kräftigen Ruderausschlägen kann ein Flugzeug dann sehr schnell an die höchstzulässige Belastungsgrenze führen.

V_X und V_Y

Zwei weitere Fluggeschwindigkeiten mit hohem Aussagewert sind für Start und Landung wesentlich. Während der induzierte Widerstand beim Langsamflug und hohem Anstellwinkel seine Höchstwerte erreicht, steigt der parasitäre

Fluggeschwindigkeiten

Widerstandswert quadratisch mit zunehmender Fluggeschwindigkeit. Aus der Summe dieser beiden Widerstände ergibt sich dann der Gesamtwiderstand für ein Flugzeug im Fluge.



Die violette Kurve gibt den induzierten, die blaue Kurve den parasitären und die rote Kurve den Gesamtwiderstand an.

Dort wo diese Kurve den geringsten Widerstandswert aufweist, liegt die „Minimum Drag Speed“, also die Geschwindigkeit für den geringsten Gesamtwiderstand. Für den Start und den anschließenden Steigflug ist dieser Fluggeschwindigkeit insofern wichtig, da bei dieser Konstellation das Flugzeug den kleinstmöglichen Gesamtwiderstand aufweist. Die daraus resultierende Konsequenz: In diesem Geschwindigkeitsbereich steht dann der größtmögliche Triebwerks-Leistungsüberschuß zur Verfügung. Hier sind dann auch die beiden

Geschwindigkeiten V_x (Best Angle of Climb → Bester Steigflugwinkel) mit dem größten Höhenzugewinn über eine definierte Distanz und V_y (Best Rate of Climb → Beste Steigfluggeschwindigkeit) für den größten Höhenzugewinn über den Faktor Zeit angesiedelt.

Während V_x hauptsächlich kurz nach dem Abheben von Bedeutung ist, um Hindernisse in Pistennähe zu überfliegen, stellt V_y eine Fluggeschwindigkeit für optimale Steigflugraten in Bezug auf den Faktor Zeit dar. Die V_x liegt schon deshalb immer unterhalb der V_y -Fluggeschwindigkeit, da sie einen größeren Anstellwinkel erforderlich macht und dadurch einen größeren induzierten Widerstandwert erzeugt. Mit zunehmender Flughöhe jedoch bewegen sich diese beiden Geschwindigkeiten aufeinander zu. Während V_y mit zunehmender Flughöhe immer weiter zurückgeht, steigt die V_x in gleicher Weise an.

Dort, wo diese beiden Fluggeschwindigkeiten dann aufeinandertreffen, erreicht ein Flugzeug dann seine Dienstgipfelhöhe. Die mögliche Steigrate geht dann auf weniger als 100 ft/min. zurück.

Noch ein Wort zu Anflug und Landung. Immer wieder kann man beobachten, dass mit einer leicht überhöhten Anfluggeschwindigkeit als der empfohlenen 1,3-fachen V_{so} angefliegen wird, um dann bei der Landung meist erst im zweiten Drittel der Piste aufzusetzen. Das kann bei kurzen Pisten und geringem Gegenwind sehr

Fluggeschwindigkeiten

schnell zu einer kritischen Situation führen. Im Bodeneffekt baut ein Flugzeug seine Geschwindigkeit nur noch mit durchschnittlich einem Knoten pro Sekunde ab. Man würde also bei einer mit 10 Knoten überhöhten Anfluggeschwindigkeit rund 10 Sekunden länger über der Piste schweben. Bei einer mittleren Geschwindigkeit von 60 Knoten sind das rund 300 Meter verschenkte Landebahn.

Wie lässt sich dieses Problem am besten lösen? Die von den meisten Flugzeugherstellern empfohlene Anfluggeschwindigkeit liegt bei der schon erwähnten 1,3-fachen $KIAS-V_{S0}$ (Knots Indicated Airspeed → angezeigte Fluggeschwindigkeit in Knoten). Bei dieser Geschwindigkeit beträgt das daraus resultierende Sicherheitspolster im Mittel etwa 10 Knoten. Kein Grund also, ängstlich zu reagieren und weitere 10 Knoten für die Familie draufzusatteln. V_{S0} und V_{S1} werden immer auf der Basis des jeweiligen Abfluggewichts ermittelt und diese Geschwindigkeitswerte reduzieren sich naturgemäß mit abnehmendem Fluggewicht. Ein zusätzliches Extrapolster also bezüglich der Sicherheit bei Anflug und Landung. Natürlich machen extreme Wetterereignisse zusätzliche Überlegungen erforderlich. So ist bei böigen Windverhältnissen, wenn die Windspitze um mehr als 10 Knoten über der mittleren Windgeschwindigkeit liegt, dieser Situation Rechnung zu tragen, indem man die halbe Böengeschwindigkeit zu der jeweiligen Anfluggeschwindigkeit addiert.

Es bestehen sicherlich keine Zweifel bezüglich der Notwendigkeit, sich immer wieder mit den ausgewiesenen Geschwindigkeitsparametern seines Flugzeugmusters vertraut zu machen. Nur so wird es überhaupt erst möglich, ein Flugzeug auf der absolut sicheren Seite zu operieren. Wer das berücksichtigt, wird auch künftig kaum außerplanmäßige Kosten und Reparaturen oder andere Instandsetzungsarbeiten aufwenden müssen.

■ *Hans-Ulrich Ohl*

Fluggeschwindigkeiten

Grafik und Tabelle

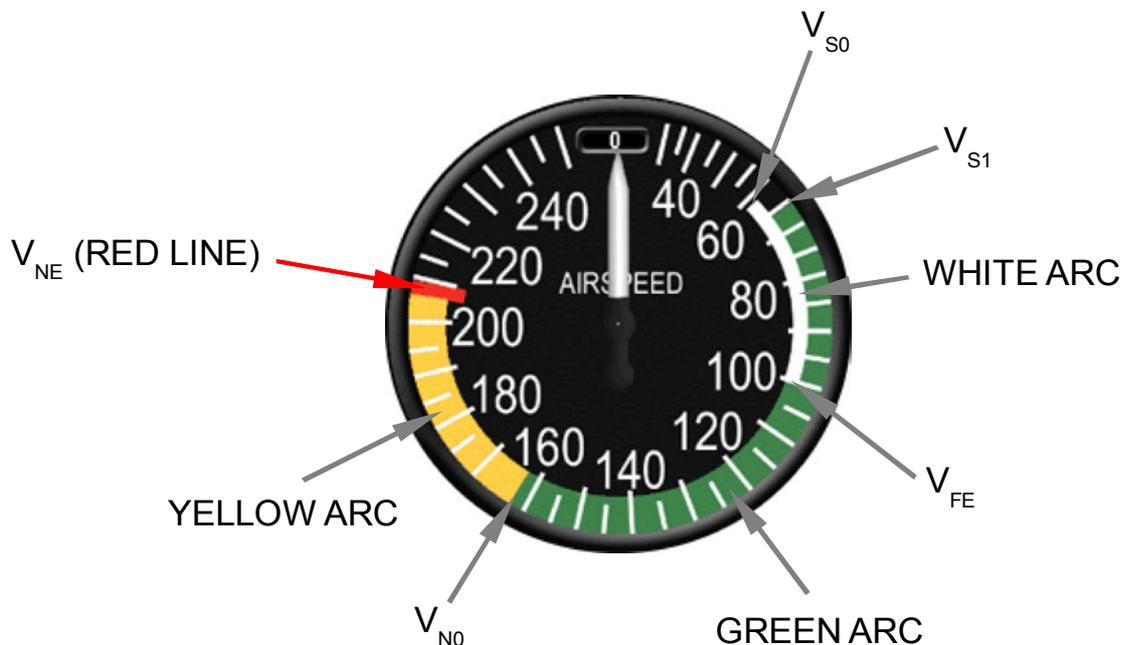


Abbildung 1: Fahrtmesser-Markierungen.

Markierung	Abk.	Erläuterung
Weißer Bogen		Zulässiger Bereich mit voll ausgefahrenen Klappen
Anfang weißer Bogen	V_{S0}	Mindest-/Überziehggeschwindigkeit (Stalling speed or minimum steady flight speed in landing configuration) ohne Gas in Landekonfiguration (Klappen und Fahrwerk ausgefahren).
Grüner Bogen		Normaler Betriebsbereich (Normal operating)
Anfang grüner Bogen	V_{S1}	Mindest-/Überziehggeschwindigkeit (Stalling speed or minimum steady flight speed) im Leerlauf ohne Klappen
Ende grüner Bogen	V_{NO}	Maximale Reisegeschwindigkeit (Maximum structural cruising speed) in böiger Luft.
Gelber Bogen		Vorsichtsbereich, in diesem Bereich nicht in böiger Luft oder bei Turbulenz fliegen.
Roter Strich	V_{NE}	Höchstzulässige Geschwindigkeit (Never Exceed speed) in ruhiger Luft. Die Ruder dürfen bei dieser Geschwindigkeit nur noch zu einem Drittel ausgeschlagen werden.
Manövergeschwindigkeit	V_A	Höchstzulässige Geschwindigkeit für volle, abrupte Ruderausschläge (Manoeuvring speed). Sie hängt von der Flugmasse ab und ist nicht eigens markiert, daher vom Flughandbuch zu entnehmen.