

Geschwindigkeiten

Sinnvoll eingesetzt ist Speed Control ein sehr hilfreiches Mittel um Flugzeuge zu separieren und Sequenzen aufrecht zu halten.

Verschiedene Geschwindigkeiten

Man unterscheidet in der Luftfahrt in verschiedene Geschwindigkeiten.

- **IAS (indicated airspeed):**

Die Geschwindigkeit, die dem Piloten auf dem Airspeed Indicator angezeigt wird. Sie ist maßgeblich für das aerodynamische Verhalten des Flugzeugs, also wieviele Luftmoleküle tatsächlich um den Flügel strömen und Auftrieb erzeugen. Sie wird in der Motorfliegerei generell in KIAS (knots indicated airspeed) angegeben (kts=NM/h)

- **TAS (true airspeed):**

Die tatsächlich geflogene Geschwindigkeit, also die relative Geschwindigkeit des Flugzeugs im Verhältnis zu der umgebenden (unbewegten) Luft. Die Diskrepanz zwischen IAS und TAS wird also immer größer, je höher ein Flugzeug fliegt, da die Luft dort immer dünner wird, und das Flugzeug immer schneller bezogen auf die TAS fliegen muss, damit die IAS konstant bleibt, also die gleiche Menge an Luftmolekülen pro Zeiteinheit um den Flügel strömen. Sie wird in KTAS (knots true airspeed) angegeben.

- **GS (Ground Speed):**

Die Geschwindigkeit der senkrechten Projektion des Flugzeugs auf die Erdoberfläche. Diese ist also die TAS mit den eingerechneten Windeinflüssen, die das Flugzeug bei Gegenwind über Grund langsamer und bei Rückenwind schneller als die TAS fliegen lassen. Dies ist die Geschwindigkeit, die dem Lotsen auf dem Radar angezeigt wird.

- **Mach Number:**

Prozent der Schallgeschwindigkeit. Angegeben mit einem Punkt und den Prozenten, also z.B. "Mach .80" = 80% der Schallgeschwindigkeit. Die Mach Number ist abhängig von vielen Werten, wie Luftdichte und Temperatur.

Nutzung der verschiedenen Geschwindigkeiten

Unter FL280 wird mit der **Indicated Airspeed (IAS)** gearbeitet, da diese für das aerodynamische Verhalten des Flugzeugs zuständig ist.

Über FL280 wird dann in der Regel die **Mach Number** benutzt, da die Flugzeuge dann so schnell werden, dass die obere Grenze der möglichen Geschwindigkeit nicht mehr nur durch aerodynamische Aspekte, sondern auch durch die sogenannte "kritische Mach Zahl" bestimmt wird. Dies ist die Mach Number, bei der an dem Flugzeug erste Effekte der mit Überschall strömenden Luft auftreten, die nicht nur Turbulenzen sondern auch eine schlechtere Steuerbarkeit der Ruder bewirken. Je höher das Flugzeug steigt, desto geringer wird seine größtmögliche IAS, bei gleichbleibender Mach Number.

Wenn bei sinkenden Flugzeugen Speedcontrol angewendet wird, kann und muss schon über FL280 IAS benutzt werden. Das kann auch schonmal FL340 oder so sein.

Je nach Flugzeugtyp ist die "Umschalthöhe" zwischen IAS/mach/IAS ja auch über oder unter FL280.

Eine Veränderung von **Mach 0.01** bewirkt eine Veränderung der **TAS** von etwa **6 KT**.

Bei Bedarf kann auch die folgende Phraseologie genutzt werden. Man muss jedoch damit rechnen, dass nicht jeder Pilot diese Anweisung versteht!

“DLH123 maintain Mach decimal 80, on conversion 320 knots

Einige Beispielwerte, bei welchem FL von IAS auf Mach umgeschalten wird:

Mach	IAS	Conversion FL
.82	310	FL303
.82	280	FL350
.82	250	FL399
.78	310	FL278
.78	280	FL324
.78	250	FL374
.74	310	FL250
.74	280	FL299
.74	250	FL350

Berechnungen

Faustformeln

0.01M Differenz ~ 6 KT GS

1000ft Höhenunterschied ~ 6 KT GS (Je höher desto schneller)

1 KT GS = 1 NM pro Stunde
60 KT GS = 1 NM pro Minute

Abstand bei bestimmten Punkt

Mehrabstand = Mehrabstand zwischen 2 Fliegern in nm
 $m = 60 \text{ Minuten} / \text{Flugzeit bis zum Punkt an dem der Abstand bestehen soll}$
Mehrabstand * m = Speed Delta in KT
Speed Delta in Mach = Speed Delta in KT / 6

Eine detaillierte Erklärung zu den Faustformeln gibt es als Video [hier](#).

Beispiel

Wir haben Flieger A und Flieger B auf gleicher Höhe, beide verlassen den Sektor bei Punkt P.

*Flieger A hat noch 150 NM (20 Minuten) bis Punkt P.
Flieger B hat noch 146 NM (19 Minuten) bis Punkt P.*

Wir wollen einen Abstand von mindestens 7nm bei Punkt P. 4nm Abstand haben wir bereits, also müssen wir einen Abstand von zusätzlich 3 NM (7 NM die wir wollen - 4 NM die wir bereits haben) in 20 Minuten erreichen.

Jetzt berechnen wir, wie viel kts GS Unterschied wir zwischen den Fliegern brauchen, damit wir diesen Abstand erreichen.

Da die Geschwindigkeiten pro Stunde sind, rechnen wir das ganze jetzt auf 60 Minuten hoch.

$$60 \text{ Minuten} / 20 \text{ Minuten} = 3$$
$$3 \text{ NM Abstand} * 3 = 9 \text{ NM Abstand}$$

Da wir wissen 1 KT GS = 1 NM pro Stunde wissen wir jetzt, dass wir einen Geschwindigkeitsunterschied von 9 KT GS brauchen, um in 20 Minuten einen Abstand von 3 NM zu erreichen.

Wir wissen 0.01M ~ 6 KT GS, daher brauchen wir in diesem Fall einen Machunterschied von 0.02M, was ein Unterschied von 12 KT GS sein wird, dieser wird zu 4nm mehr Unterschied in 20 Minuten führen, daher zu insgesamt 8 NM (4 NM aktueller Abstand + 4 NM neuer Abstand durch Geschwindigkeitsunterschied) Abstand bei Punkt P führen. Falls die Flieger nicht auf der selben Flughöhe sind, müssen wir 6 KT pro 1000ft vom Speed Delta abziehen, wenn der höhere Flieger der vordere ist. Wenn der höhere Flieger der hintere ist, müssen wir pro 1000ft 6 KT zum Speed Delta hinzufügen.

Abstand nach bestimmter Zeit

Wenn Speed Control benutzt wird, kann der Abstand nach einer bestimmten Zeit leicht berechnet werden:

Als Faustformel erhält man bei einer Geschwindigkeitsdifferenz von 30 KT (z.B. 250 KT und 280 KT) über eine Distanz von 30 NM ein Spacing von etwa 3 - 3,5 NM.

Beispiel

Wenn das vordere Flugzeug also 30 KIAS mehr fliegt als das hintere, kommt pro Minute eine halbe NM spacing mehr dabei heraus! Vorsicht, wenn das hintere Flugzeug noch wesentlich höher ist als das vordere! Wir erinnern uns, dass die TAS immer mehr abnimmt, je tiefer das Flugzeug fliegt. Es kann also sein, dass der hintere bereits 30 KIAS langsamer fliegt als der vordere, und trotzdem bezogen auf die GS immer noch schneller ist, eben weil er höher ist. Deshalb ist es eine gute Taktik, die Flugzeuge, die man langsam haben will, zuerst auf die gewünschte Höhe zu bringen und danach die Speed zu reduzieren. Wenn eine hohe Rate of Descend gehalten werden soll, ist es natürlich schwer möglich seine Speed radikal zu reduzieren. Das sollte man berücksichtigen!

Im Anflug auf einen Airport wird, wenn Holdings zu erwarten sind, gerne die Formulierung: "Reduce Minimum Clean Speed" benutzt, also die Aufforderung, auf die geringstmögliche Geschwindigkeit ohne Setzen der Klappen zu reduzieren. Dabei ist zu beachten, dass so eine Speed immer unterschiedlich sein kann, je nach Flugzeugtyp und Beladung. Sie kann also nicht als Staffellungsgrundlage verwendet werden. Die Formulierung "Reduce Minimum Approach Speed" soll nicht verwendet werden!

Auf dem Final gilt folgende Regel: Auf dem Weg zum 10 NM Final Point geht ca. 1 NM Spacing verloren, weil die vordere Maschine früher reduziert. Das gleiche gilt am Outer Marker. Man sollte also beim Vectoring auf Minimum Separation + 2 NM zielen, damit die Separation bis zum Touchdown ausreichend bleibt!

Advanced: Ground Speed Effekt

Zunächst müssen wir einen Blick auf die verschiedenen Geschwindigkeiten werfen. Der Pilot hat seine indicated airspeed (IAS). Der Controller hat die Groundspeed (GS). Das verbindende Element ist die True Airspeed (TAS). Die IAS ist nur ein Indikator, wie schnell sich das Flugzeug im Moment durch die Luft bewegt. Die GS ist ein Indikator, wie schnell sich das Flugzeug relativ zum Boden bewegt. Hier wird alles wie z.B. Luftdichte, Wind, etc. korrigiert. Diese Geschwindigkeit entspricht genau der, die ein Auto auf dem Boden hätte. Die TAS ist ein bisschen trickreich. Sie gibt die Geschwindigkeit an, die ein fester Körper in einem bestimmten Medium hat. Wenn wir den Wind beiseite lassen, müssen wir uns nur mit dem festen Körper (unserem Flugzeug) und dem Medium (Luft) beschäftigen, in dem er sich bewegt. In großen Höhen wird die Luft dünner. Das bedeutet weniger Widerstand durch das Medium, was zu einer höheren Geschwindigkeit des Festkörpers führt. Die Schlussfolgerung: Je höher das Flugzeug, desto größer die Geschwindigkeit. Diese Geschwindigkeiten hängen alle miteinander zusammen. Mit einer einfachen Formel kann die TAS bestimmt werden. Die Groundspeed ist dem Lotsen bekannt, die angezeigte Fluggeschwindigkeit muss beim Piloten erfragt werden.

$$TAS = IAS + FL / 2$$

Beispiel

Nehmen wir an, der Approach hat zwei Flugzeuge als Paket vom Center bekommen. Beide befinden sich auf der gleichen STAR auf unterschiedlichen Höhen und es gibt nicht genug Platz und die Flugzeuge lateral zu separieren.

Unser Szenario ist wie folgt: **DLH123 auf FL150 / 300 KIAS - CFG999 auf FL160 / 300 KIAS**, gleiche laterale Position, gleiche Flugrichtung. Wir brauchen sie nun beide auf 5000ft und 3NM separation innerhalb von 40NM nur mit Nutzung vertikaler Techniken. Wir nehmen an das Windstille herrscht, somit gilt GS = TAS.

$$\begin{aligned} TAS_{DLH123} &= 300 \text{ KT} + 150 / 2 = 375 \text{ KT} \\ TAS_{CFG999} &= 300 \text{ KT} + 160 / 2 = 380 \text{ KT} \end{aligned}$$

Wir benötigen beide Flugzeuge auf 5000 ft, für DLH123 gilt somit:

$$TAS_{DLH123} = 300 \text{ KT} + 50 / 2 = 325 \text{ KT}$$

Dies führt zu einer Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Luftfahrzeugen von 55 KT (380 KT - 325 KT), sodass die laterale Separation um etwa 1 NM pro Minute zunimmt (55 KT / 60 Minuten).

Wir brauchen also drei Minuten, um die Luftfahrzeuge bei der Geschwindigkeitsdifferenz auf 3 NM zu separieren. Wir müssen beide Flugzeuge gleichzeitig sinken lassen und eines muss unseren Zielfix drei Minuten vor dem anderen erreichen. Wie müssen nun die Sinkraten sein, um dies zu erreichen?

Zunächst berechnen wir die Rate des höheren Flugzeugs. Dieser bewegt sich mit 380 KTS GS. Er braucht ca. 6 Minuten für die 40 NM ($40 \text{ NM} / (380 \text{ KT} / 60 \text{ Minuten})$) und muss 10.000ft verlieren. Dies führt zu einer Sinkrate von 1700 ft/m.

DLH123 braucht auf seiner aktuellen Höhe und Geschwindigkeit ebenfalls 6 Minuten, muss aber 3 Minuten nach dem höheren CFG999 dort sein. Sie muss also die 11.000ft in 3 Minuten verlieren (6 Minuten Flugzeit insgesamt und die 3 Minuten, die zur Erhöhung der Separation benötigt werden, lassen 3 Minuten für den Sinkflug übrig). Das bedeutet eine Sinkgeschwindigkeit von etwas 3600 ft/m.

Weiterführende Links

- **Skybrary:** [Basic Controller Techniques - Speed Control](#) (englisch)
- **Youtube:** [Enroute Speed Control](#) (englisch - LOVV FIR)
- **Youtube:** [Speed Control - Rules of Thumb](#) (englisch)

Revision #2

Created 24 August 2022 12:54:06

Updated 15 November 2022 20:05:56 by 1439797