

# Eine Fluggeschwindigkeit, verschiedene Anzeigen

Freitag, 1. Oktober 2010 - 13:54 | Autor: [wabis](#) | Themen: [Wissen](#), [Aviatik](#)

Ein Flugzeug kennt mehrere unterschiedliche Geschwindigkeitswerte, die alle ihre spezielle Bedeutung haben. Die wichtigsten sind: Indicated Airspeed (IAS), Mach Speed, Ground Speed (GS), True Airspeed (TAS).



In diesem Artikel erkläre ich, wieso es unterschiedliche Geschwindigkeiten braucht, wo diese angezeigt werden und wie sie von einander abhängig sind.

## Geschwindigkeitsanzeigen im Cockpit

Lässt man sich die Cockpit-Anzeigen eines modernen Verkehrsflugzeugs von einem Piloten erklären, fällt dem aufmerksamen Zuhörer auf, dass es diverse Anzeigen für die Geschwindigkeit des Flugzeugs gibt. Jede Anzeige zeigt einen anderen Wert an!

Das folgende Bild zeigt das EFIS (Electronic Flight Instrument System) auf der Copilotenseite einer Boeing 747-400, geläufig auch unter dem Namen Jumbo-Jet. Der Copilot sitzt immer rechts im Cockpit. Die Anzeigen des links sitzenden Kapitäns sind vertauscht, aber das spielt keine Rolle. Zum EFIS gehört das Navigation Display (ND), hier links, und das Primary Flight Display (PFD) rechts.

### Anzeigen

- A Speed Tape**
- B Indicated Air Speed (IAS) = 300 kts**
- C Mach Selected = Mach 0.859**
- D Mach Speed = Mach 0.856**
- E True Air Speed (TAS) = 491 kts**
- F Ground Speed (GS) = 458 kts**
- G Wind Speed and Direction = 54 kts**



EFIS Boeing 747

Wir haben also drei verschiedenen Werte für die Fluggeschwindigkeit in Knoten (kts = nautische Meilen pro Stunde; 1 kts = 1.852 km/h):

- 300 kts IAS (Indicated Air Speed), oft auch als 300 KIAS angegeben
- 491 kts TAS (True Air Speed)
- 458 kts GS (Ground Speed)

plus eine Geschwindigkeitsangabe in Mach:

- Mach 0.856

Der Mach-Wert gibt an, wie schnell sich das Flugzeug bezüglich der Schallgeschwindigkeit bewegt. Wir fliegen hier mit 0.856-facher Schallgeschwindigkeit, wobei diese von der Flughöhe bzw. der dort herrschenden Temperatur abhängig ist. In unserem Fall beträgt die Reiseflughöhe 33'000 Fuss (FL 330; FL = Flight Level) und die Schallgeschwindigkeit ist bei der aktuellen Temperatur in dieser Höhe 573.6 kts = 1'062 km/h. Das nur nebenbei.

## Warum verschiedene Werte?

---

Geschwindigkeit ist definiert als Strecke, die in einer bestimmten Zeit zurückgelegt wird. Was für eine Strecke soll nun ein Flugzeug als Bezug nehmen? Und wie soll es diese Strecke messen? Zudem kann man Geschwindigkeiten auch anders definieren, wie ich nachfolgend noch erklären werde.

### True Air Speed (TAS)

Zunächst einmal bewegt sich das Flugzeug durch die Luft. Man könnte also angeben, wie schnell sich das Flugzeug relativ zur Luft bewegt. Diese Geschwindigkeit wird als True Air Speed (TAS) bezeichnet und auf dem Navigation Display (ND) angezeigt.

Die True Air Speed kann (noch) nicht direkt gemessen werden, sondern wird aus verschiedenen Messwerten (Staudruck, statischer Druck, Temperatur) indirekt berechnet. Diese Berechnungen sind recht kompliziert und werden heute vom Computer übernommen.

### Ground Speed (GS)

Bei Windstille kann die Ground Speed (GS = Geschwindigkeit über Grund) einfach angegeben werden: Sie entspricht gerade der True Air Speed:

Bei Windstille gilt:  $GS = TAS$

Die Ground Speed braucht man zum Navigieren. Damit kann man ausrechnen, wie lange man benötigt, um den nächsten Navigationspunkt zu erreichen. Diese Berechnungen übernimmt der Navigationscomputer und zeigt die erwartete Ankunftszeit auf dem Navigation Display an. Für die Staffelung des immer dichter werdenden Flugverkehrs ist das Einhalten der Zeiten sehr wichtig, vor allem in den nicht vom Radar überwachten Flügen über den Meeren.

Heute wird die Ground Speed durch das Navigationssystem des Flugzeugs berechnet. Dabei werden verschiedene Methoden gleichzeitig verwendet und untereinander abgeglichen: GPS, Trägheitsnavigation und Funknavigation. All dies geschieht vollautomatisch. Den Piloten wird die errechnete Position des Flugzeugs auf dem Navigation Display schematisch angezeigt.

### Windstärke und -Richtung

Aus dem Unterschied zwischen Ground Speed (GS) und True Air Speed (TAS) lässt sich die Windstärke und Richtung berechnen. In grossen Höhen können sehr starke Winde auftreten, bis weit

über 200 kts (Jet-Streams). Die Flugrouten werden so geplant, dass man möglichst wenig Gegenwind, jedoch möglichst viel Rückenwind hat. Windrichtung und -Stärke werden vom Computer automatisch aus GS und TAS berechnet und im Navigation Display angezeigt.

## Indicated Air Speed (IAS)

Bisher haben wir also schon TAS und GS zusammen mit dem Wind erklärt. Die verschiedenen Werte rühren hier von verschiedenen Bezugssystemen her: Boden (GS) oder Luft (TAS). Weshalb braucht es dann noch die Indicated Air Speed (IAS), was ist das überhaupt und wozu noch die Mach-Anzeige?

Die Indicated Air Speed ist in dem Sinne keine echte Geschwindigkeitsanzeige, als sie keine Strecke misst, die in einer bestimmten Zeit zurückgelegt wird. Vielmehr wird der Staudruck gemessen und dieser Wert wird in eine Geschwindigkeit umgemünzt. Weshalb?

Der Staudruck ist die einzige direkt messbare Grösse, die mit der Geschwindigkeit des Flugzeugs bezüglich der Luft im Zusammenhang steht. Die Formel dafür lautet:

$$(1) \quad q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

wobei  $q$  = Staudruck

$\rho$  = Luftdichte

$v$  = Geschwindigkeit (True Air Speed)

Man misst also den Staudruck mit einem sog. Pitot-Rohr und beschriftet die Anzeige so, dass statt dem Druck die Geschwindigkeit  $v$  angezeigt wird. Das Problem dabei: Dies funktioniert nur auf Meereshöhe bei einem bestimmten Luftdruck und bei einer bestimmten Temperatur (Standardatmosphäre). Je höher das Flugzeug fliegt, umso dünner wird die Luft ( $\rho$  wird kleiner). Damit wird aber auch der gemessene Staudruck immer kleiner, selbst wenn die Geschwindigkeit  $v$  gleich bleibt. Darum ist die Indicated Air Speed auf der Anzeige oben nur 300 kts, während das Flugzeug eigentlich mit 491 kts durch die Luft fliegt.

Warum wird denn trotzdem die IAS als Hauptwert auf dem Speed Tape angezeigt?

Dies hat sehr praktische Gründe: Luftwiderstand und Auftrieb sind direkt proportional zum Staudruck. Bei gleichem Staudruck hat das Flugzeug den gleichen Auftrieb und es wirken die selben strukturellen Kräfte auf das Flugzeug, egal in welcher Höhe es sich befindet.

Solange sich die IAS Anzeige also innerhalb eines bestimmten Bereiches befindet, kann der Pilot sicher sein, dass das Flugzeug genug Auftrieb hat und die Kräfte am Flugzeug nicht zu stark werden, also keine strukturelle Überlastung stattfindet, unabhängig von Luftdruck, Temperatur und Luftdichte!

Dies ist also der Grund dafür, dass die Indicated Air Speed (IAS) die wichtigste angezeigte Geschwindigkeit ist.

Auf Meereshöhe unter Standardatmosphäre gilt: IAS = TAS

Je nach Gewicht darf das Flugzeug eine bestimmte IAS nicht unterschreiten (z.B. 140 kts), damit sicher genug Auftrieb produziert wird. Um strukturelle Schäden zu vermeiden darf eine bestimmte IAS aber auch nicht überschritten werden (z.B. 340 kts). Wie hoch das Flugzeug fliegt, wie gross die TAS oder GS dabei ist, spielt überhaupt keine Rolle. Für die Flugsicherheit ist alleine die IAS-Anzeige von Bedeutung, daher ist das die wichtigste Geschwindigkeitsanzeige.

## Mach Speed

Jetzt stellt sich nur noch die Frage, was die Mach Speed für eine Rolle spielt.

Die Mach Speed spielt erst in grosser Höhe ab ca. 27'000 Fuss eine Rolle. Im Prinzip wird versucht, mit möglichst hoher IAS zu fliegen, damit man möglichst schnell ans Ziel kommt. Eine obere Grenze für die IAS bildet aber die strukturelle Belastung des Flugzeugs und man muss für Windschwankungen und Flugmanöver noch eine gewisse Reserve einbauen. So fliegt man (je nach Flugzeug) maximal mit 320 kts IAS. Je höher man nun fliegt, umso dünner wird die Luft. Um in diesen Bedingungen noch 320 kts IAS angezeigt zu bekommen, muss sich das Flugzeug wesentlich schneller durch die Luft bewegen, die TAS nimmt also zu. Irgendwann kommt man in Geschwindigkeitsbereiche, wo die TAS sich der Schallgeschwindigkeit nähert, selbst wenn die IAS wesentlich darunter ist.

Jetzt kommen aerodynamische Effekte ins Spiel. Auf der Flügeloberseite ist wegen dem Flügelprofil die Luftströmung einiges höher als TAS. Wenn nun die Strömung an der Flügeloberseite die Schallgeschwindigkeit erreicht, bilden sich Schockwellen und die Strömung löst sich vom Flügel ab. Dies bedeutet Auftriebsverlust und muss daher vermieden werden.

Der Pilot muss also zusätzlich dafür sorgen, dass ein bestimmter Prozentsatz der Schallgeschwindigkeit nicht überschritten wird, also z.B. mit maximal Mach 0.86 geflogen wird. Ab einer bestimmten Höhe, der Cross-Over-Höhe von 27'000 Fuss, ist nun diese Mach Speed die obere Geschwindigkeitsgrenze, nicht mehr die IAS. Daher wird auch die Mach Speed am Speed Tape angezeigt.

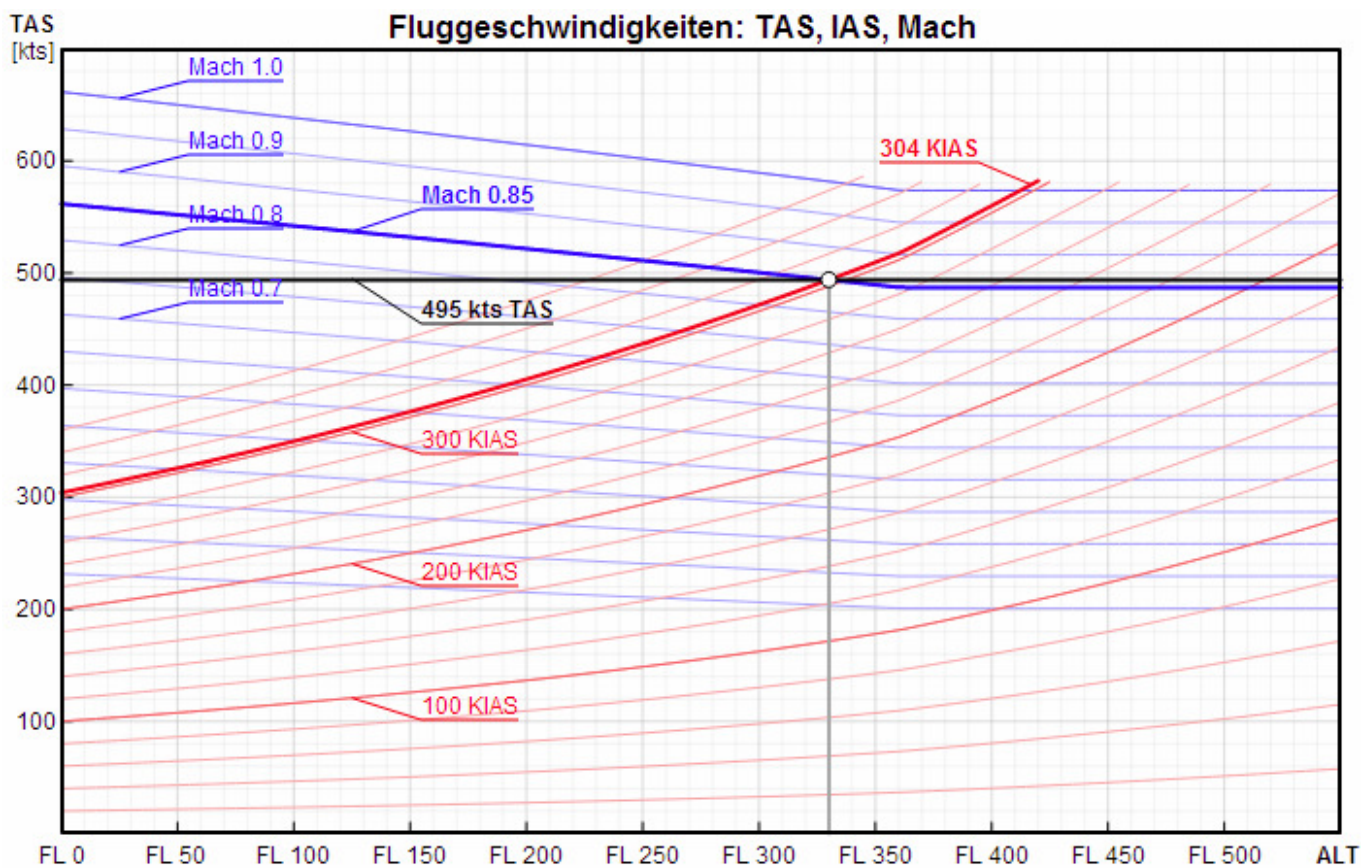
Beim Autopiloten kann die Geschwindigkeit entweder als IAS oder als Mach vorgegeben werden. Unterhalb der Cross-Over-Altitude wird die Geschwindigkeit als IAS eingestellt, darüber als Mach Wert.

## Zusammenhang von TAS, IAS und Mach Speed

---

In der folgenden Grafik ist der Zusammenhang von True Air Speed (TAS), Indicated Air Speed (IAS) und Mach Speed dargestellt. Die Werte, die beim Jumbo Jet im Bild oben angezeigt werden, sind in der Grafik hervorgehoben (kleiner Kreis). Die kleinen Abweichungen zwischen den Werten in der Grafik und den Werten auf den Cockpit-Anzeigen rühren daher, dass die Grafik mit Standardatmosphäre berechnet wurde, während im Flugzeug eine etwas andere Temperatur und Luftdichte herrschte.

Wenn du mit der Maus über die Grafik fährst oder in die Grafik klickst, werden die zugehörigen Werte in der Tabelle darunter in aviatischen und metrischen Einheiten angezeigt.



Einheiten	Flughöhe	TAS	IAS	Mach
Aviatisch	FL 0	0 kts	0 kts	0.00
Metrisch	0.0 km	0 km/h	0 km/h	