

EFFEKTE HOHER MACHSCHER ZAHLEN BEI HOCHGESCHWINDIGKEITSFLUGZEUGEN BIS 1945

H. Galleithner
Bergerstraße 4
82386 Huglfing

1. EINLEITUNG

Der Beitrag ist ein Überblick über den Inhalt des Kapitels 5 in dem Buch „**Die Pfeilflügelentwicklung in Deutschland bis 1945**“, das als Band 33 in der Reihe „**Die Deutsche Luftfahrt**“ erschienen ist.

Noch vor Beginn des Zweiten Weltkrieges war es gelungen, die Fluggeschwindigkeit der Jagdflugzeuge ganz erheblich zu steigern. Die erreichbaren maximalen Geschwindigkeiten und die entsprechenden *Machschen Zahlen* lagen jedoch noch genügend weit unter Werten, bei denen die Kompressibilität Einfluss auf Stabilität und Steuerbarkeit nehmen konnte. Die Entwicklung des Strahltriebs und seine Verwendung zur Vortriebserzeugung bei Flugzeugen ab dem Jahr 1939 eröffnete die Möglichkeit zur weiteren Steigerung von Flughöhe und Fluggeschwindigkeit. Schon im Horizontalflug konnten Geschwindigkeiten erreicht werden, die davor kaum im Sturzflug möglich waren. Mit Annäherung der Fluggeschwindigkeit an die Schallgeschwindigkeit musste sich die bis dahin vernachlässigbare Kompressibilität der strömenden Luft bemerkbar machen. Über das Wie gab es noch keine konkreten Anhaltspunkte.

2. PROPELLERFLUGZEUGE

Im Verlauf des Luftkriegsgeschehens ab 1939 gab es vermehrt Meldungen über Abstürze ohne Feindeinwirkung, bei denen die propellergetriebenen Jagdflugzeuge bei hohen Staudrücken aus steilen Bahnneigungsflügen nicht mehr abgefangen werden konnten. Davon war in Deutschland besonders die Bf 109 betroffen, aber auch die Baureihen der Fw 190 wurden verschiedentlich beanstandet. Auch die schnelle Do 335 zeigte *Macheffekte*. In England wurden ähnliche Beobachtungen an der „Spitfire“, und „Tempest“, und in den USA mit der „Airacobra“, „Lightning“, „Mustang“ und „Thunderbolt“ gemacht. Bei Sturzflügen aus großer Höhe, bei denen kritische *Machsche Zahlen* ab etwa $M = 0,75$ erreicht wurden, beobachtete man schlagartig einsetzendes heftiges Schütteln des ganzen Flugzeugs, ungesteuerte Gier- und Rollbewegungen, starke Kopf- oder Schwanzlastigkeit in Verbindung mit einem Verlust der Steuerbarkeit, die sich durch übermäßig große Knüppelkräfte, aber auch durch völlige Wirkungslosigkeit des Höhenruders bemerkbar machen konnte. Gleichzeitig nimmt der Widerstand ab der kritischen *Machschen Zahl* fast abrupt zu. Eine im Sturz steuerlos gewordene Maschine schüttelte zwar, oder wollte steiler auf die Nase gehen, aber sie beschleunigte auch nicht weiter. Hinzu kam, dass die *Machsche Zahl* bei gleich bleibendem Staudruck mit abnehmender Höhe rasch kleiner wird und

damit die Kompressibilitätseffekte fast übergangslos verschwanden, d. h. das Flugzeug war wieder normal steuerbar.

3. STRAHL- UND RAKETENFLUGZEUGE

Etwa 1942/43, begann in Deutschland die Flugerprobung der Strahlflugzeuge Me 262, Ar 234 und auch des Raketenflugzeugs Me 163, die alle Serie gebaut und in größeren Stückzahlen zum Kampfeinsatz kamen. In England wurden Flugzeuge mit Strahltrieb, wie die Gloster „Meteor“, DeHavilland „Vampire“, und in den USA die XP-59, XP-80, XP-84 zwar nicht viel später erprobt, auch in Serie gebaut, aber nicht mehr nennenswert im Luftkampf eingesetzt. Die mit dem Strahltrieb eingeleitete, sprunghafte Steigerung der erzielbaren Fluggeschwindigkeiten war ebenso wünschenswert wie Besorgnis erregend. Kritische *Machsche Zahlen*, die kaum anders waren, als die der Propellerflugzeuge, wurden bei Vollschub praktisch schon im Horizontalflug erreicht. In großer Höhe mit hoher Geschwindigkeit angedrückte Manöver führten fast unvermeidlich zu *Macheffekten*. Einige Flugzeuge zeigten schon in der Erprobungsphase unerwartete und zum Teil gefährliche Flugeigenschaften, ähnlich denen der Propellerjäger. Unangenehmer war es, durch solche Effekte im Einsatz überrascht zu werden. Verschiedentlich war man sich nicht im Klaren darüber, in welcher Weise sich *Machbedingte* und aeroelastische Effekte dabei überlagerten. Die Heftigkeit der Erscheinungen ließ vermuten, dass eine anscheinend unüberwindliche Grenze, die „Schallmauer“, jede weitere Steigerung der Geschwindigkeit verhindern könnte.

Von den bis 1945 eingesetzten Turbinenflugzeugen hatte die Me 262 als einziges einen Tragflügel mit deutlicher Pfeilung. Bei Vergleichsflügen 1946 mit XP-80 und XP-84 in den USA wurde die höhere Fluggeschwindigkeit der Me hauptsächlich auf dieses Merkmal zurückgeführt. Nach Ansicht der englischen RAE wies die Me die höchste taktisch nutzbare *Machsche Zahl* ($M = 0,84$) aller bis Kriegsende eingesetzten Kampfflugzeuge auf. Die Me 163 hatte als Nurflügler eine noch größere Pfeilung der Tragflächen aufzuweisen. Kritische *Machsche Zahlen*, die geringer waren als bei der Me 262, konnte sie erreichen, wenn der Raketenantrieb im Horizontalflug oder Bahnneigungsflug nicht ausgeschaltet wurde. Heftiges Schütteln, plötzliches Abkippen einer Fläche, oder Auf-den-Kopf-gehen mit hohen negativen Lastvielfachen waren die Folge.

Das eingangs genannte Buchkapitel geht ausführlich auf die beschriebenen, durch Kompressibilität ausgelösten Effekte an den propeller- oder strahlgetriebenen Flugzeugen der Epoche bis 1945 ein. Auftreten und Erklärungsversuche der Erscheinungen und der Umgang damit werden typenbezogen für die deutschen Flugzeuge und die der Gegnerstaaten geschildert.