

Zeitschrift: ASMZ : Sicherheit Schweiz : Allgemeine schweizerische Militärzeitschrift
Herausgeber: Schweizerische Offiziersgesellschaft
Band: 116 (1950)
Heft: 3

Artikel: Fliegen bei Überschallgeschwindigkeit
Autor: Schneider, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-22442>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 19.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

ab mit überpinseltem Kennzeichen ein schneidiger Regimentskommandeur. Man darf solche Vorgänge selbst im letzten Kriegsjahr keineswegs verallgemeinern. Aber daß sie überhaupt möglich waren, ist schon symptomatisch.

Welches sind nun die Lehren des Durchbruchs aus Brest-Litowsk? Dreißig Divisionen hatte der Russe eingesetzt, die Stadt zu nehmen. Das war der deutschen Führung bekannt. Indem sie aus Prestigegründen den Befehl zum Halten der «Festung» gab, opferte sie nutzlos Menschen und Material, die nachmals an anderer Stelle bitter nötig gewesen wären. Als es dann endlich doch zu der von vornherein unvermeidlichen Räumung der Stadt und zum Durchbruch kam, wurden diese Operationen infolge verschiedener dabei vorgekommener Fehler, die hier im einzelnen angedeutet worden sind, auf eine Art und Weise durchgeführt, die ebenso verlustreich wie niederdrückend war für alle daran Beteiligten. Die vorübergehende Euphorie, die den Menschen bekanntlich öfter befällt, wenn er eine Gefahr überstanden hat, konnte daran nichts ändern.

Fliegen bei Überschallgeschwindigkeit

Nach englischen Angaben bearbeitet von Lt. Alfred Schneider

Amerikanische und englische Flugzeuge, mit Raketen- und Düsenmotoren ausgerüstet, haben in den letzten Jahren Geschwindigkeiten entwickelt, die über der Geschwindigkeit des Schalls liegen, also größer sind als 1200 Kilometer in der Stunde.

Noch bis zum Jahre 1940 betrug die Höchstgeschwindigkeit ungefähr 650 Kilometer in der Stunde, was einer Machzahl M^1 von 0,55 entspricht. Da von dieser Geschwindigkeit an der Wirkungsgrad vom Propellerantrieb stark abnimmt, und das Material den ungeheuren Fliehkräften, denen es ausgesetzt ist, nicht standzuhalten vermag, schien die Entwicklung des Flugzeugbaues einen Höhepunkt erreicht zu haben.

Die Entdeckung neuer Antriebsmittel veränderte jedoch das Bild schlagartig. In wenigen Jahren stieg der Geschwindigkeitsrekord von 55 % auf mehr als 85 % der Schallgeschwindigkeit und brachte damit Traumvorstellungen zur Wirklichkeit.

Welches sind nun diese besonderen Bedingungen, die uns erlauben, in die Nähe der Schallgeschwindigkeit zu gelangen, ja, diese sogar zu über-

¹ In der Flugtechnik wird oft an Stelle der Geschwindigkeit die sog. Machzahl angegeben. Darunter ist das Verhältnis zu verstehen zwischen Flugzeuggeschwindigkeit und Schallgeschwindigkeit.

schreiten? Und wie vermögen sie den zukünftigen Bau der Flugzeuge zu beeinflussen? – Viele Fragen müssen noch von der wissenschaftlichen Forschung abgeklärt und durch praktische Versuche bestätigt werden, die großen Linien aber, nach denen sich die Konstruktionen entwickeln werden, sind festgelegt. – Wir wollen einmal die Verhältnisse, die sich einstellen, wenn ein Körper mit Überschallgeschwindigkeit durch die Luft fliegt, untersuchen.

Laut der Definition der Schallgeschwindigkeit ist diese die Geschwindigkeit, mit der Druckstörungen, hervorgerufen durch einen Körper, nach allen Seiten mitgeteilt werden. Es sind diese Druckstörungen, die die Gegenwart des Körpers in der ihn umgebenden Luft anzeigen. Im Falle, wo die Geschwindigkeit des Körpers größer ist als die Schallgeschwindigkeit, wird die Luft vor dem Körper von diesem «überrascht».

In *Bild 1* bedeuten die Buchstaben A_1 , A_2 , A_3 und A_4 die nacheinander eingenommenen Stellungen des Körpers, der sich in der angegebenen Richtung mit der Geschwindigkeit U fortbewegt. Diese sei größer als die Schallgeschwindigkeit. Während der Körper sich nun von A_1 nach A_4 bewegt, pflanzt sich die durch ihn hervorgerufene Druckstörung nach allen Seiten mit Schallgeschwindigkeit fort und bildet einen Kreis mit dem Radius A_1P_1 . Von A_2 aus bildet sich der Kreis mit dem Radius A_2P_2 und so fort. Die Gesamtstörung hält sich innerhalb der Grenzen A_4B_1 und A_4B_2 und hat die Form von Wellen, die sich unter Winkeln von $\frac{1}{\sin \frac{a}{U}}$ zur Bewegungsrichtung ausbreiten.

Wir übertragen diese Betrachtungen nun auf einen Flugzeugflügel (*Bild 2*), indem wir annehmen, daß jeder Punkt der Flügeloberfläche eine Schallwelle unter einem Winkel von $\frac{1}{\sin \frac{a}{U}}$ zur Bewegungsrichtung auflöst. Die Druckstörung haftet dem Flügel an und bewegt sich mit diesem; darin liegt der Grund zum sehr großen Strömungswiderstand. Im Gegensatz dazu stehen die Verhältnisse bei kleineren Geschwindigkeiten, wo die Störung dem Flügel voraneilt und sich nach allen Richtungen ausbreitet.

Überschallflugzeuge

Bild 3 veranschaulicht die konstruktiven Veränderungen, die sich bei Schall- und Überschallgeschwindigkeiten als notwendig erweisen.

Zuerst betrachten wir den Flügelquerschnitt. Der erste Schnitt zeigt die gewöhnliche Form für Geschwindigkeiten von ungefähr 800 Kilometer in der Stunde ($M = 0,7$): die obere Fläche des Flügels ist stärker gewölbt

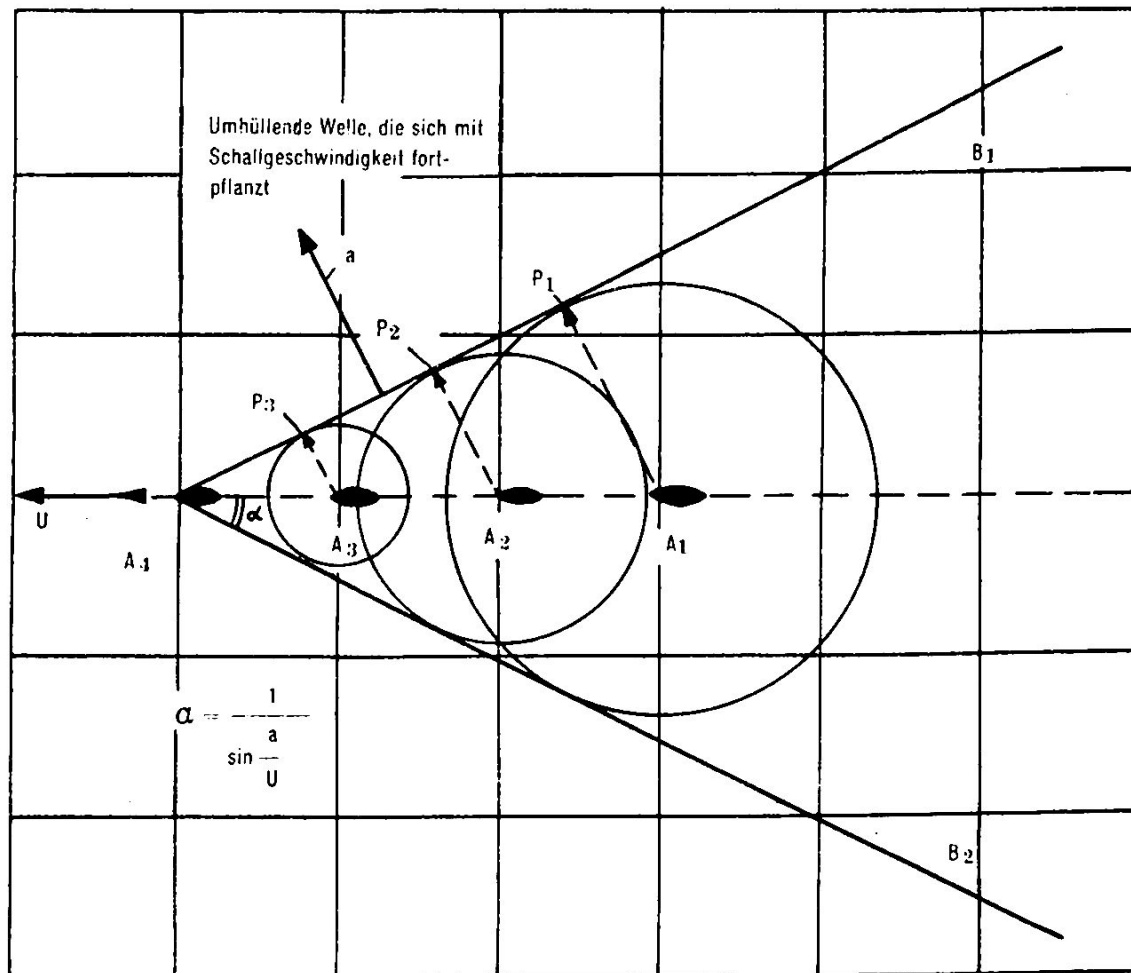


Bild 1 Fliegender Körper mit Überschallgeschwindigkeit

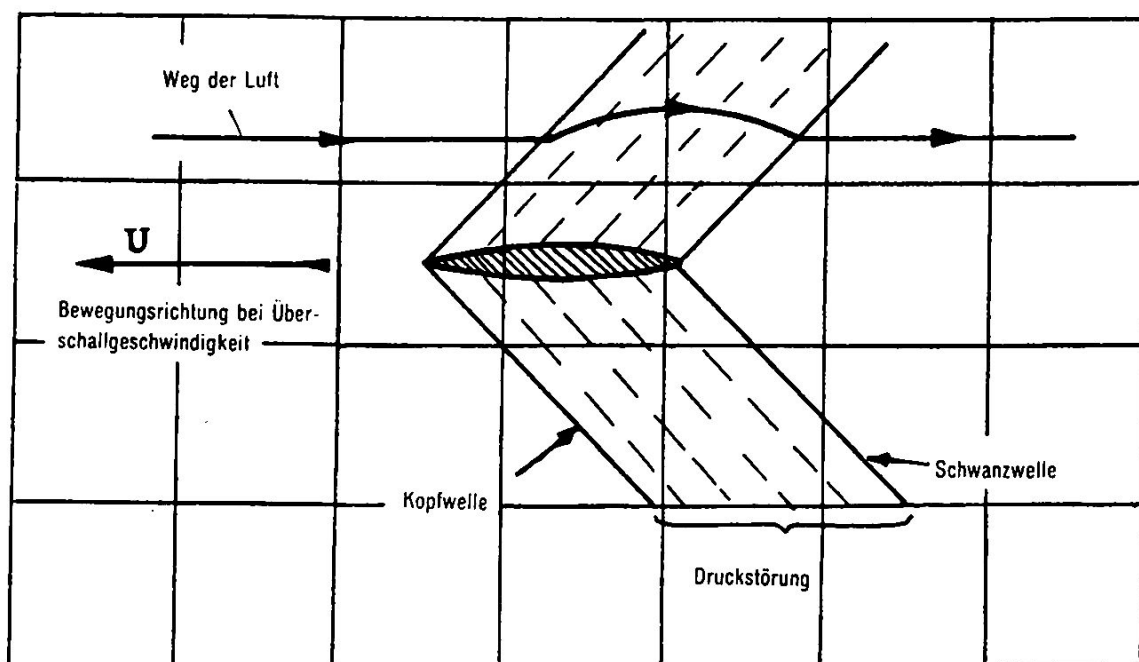


Bild 2 Verhältnisse beim Flugzeugflügel

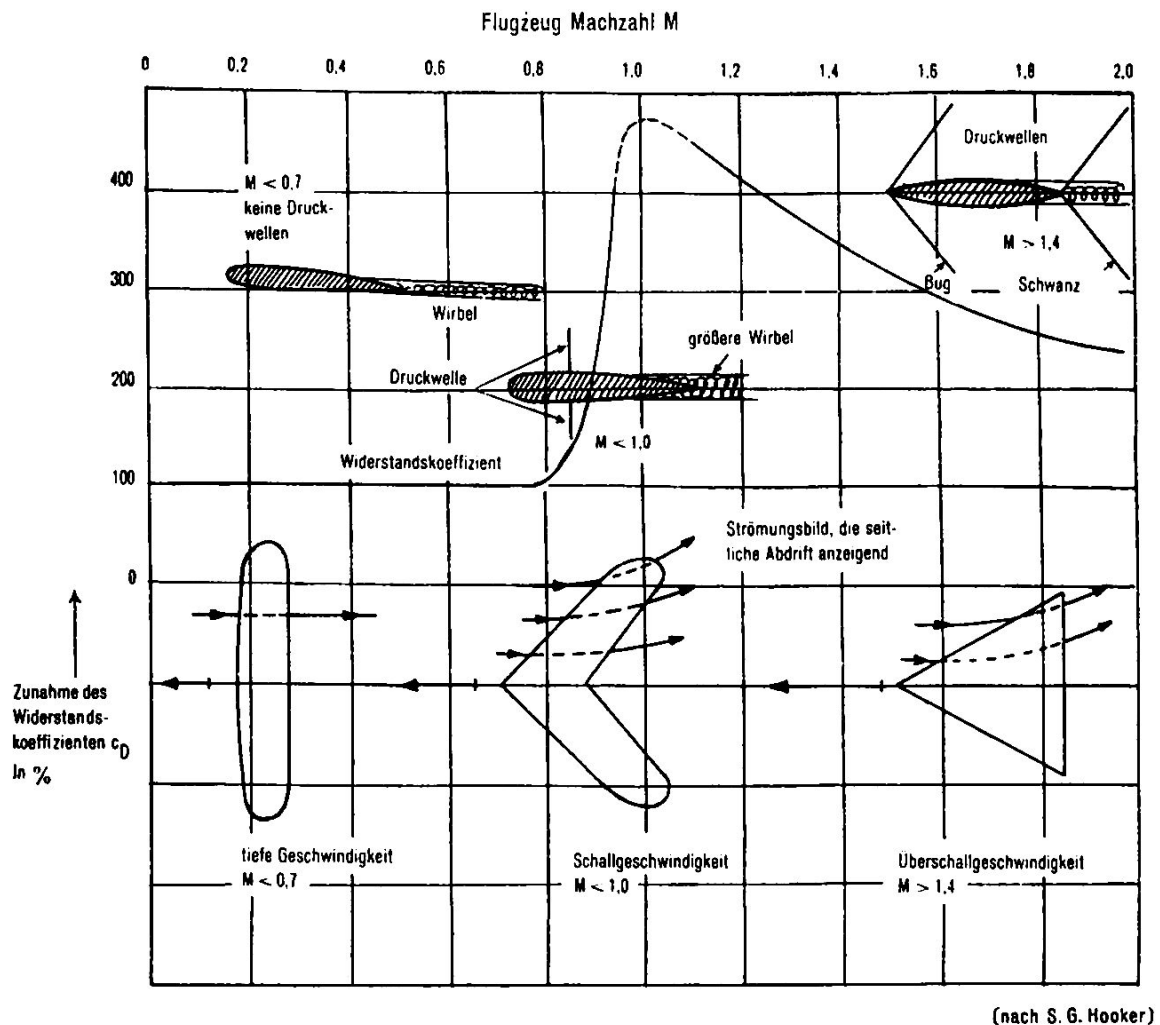


Bild 3 Konstruktive Veränderungen des Flugzeugflügels bei steigender Machzahl M.

als die untere. Nähern wir uns der Schallgeschwindigkeit, so wird der Schnitt dünner und neigt zu symmetrischer Form, die ungefähr bei der halben Flügelsehne am dicksten ist. Der Schnitt des Flügels bei Überschallgeschwindigkeit schließlich wird symmetrisch und weist scharfe Vorder- und Hinterkanten auf.

Eine der Auswirkungen dieser Veränderungen ist die besagte Zunahme des Widerstandes. Bis zu $M = 0,8$ wird sein Wert noch nicht beeinflusst und bleibt bei der Größe für tiefere Geschwindigkeiten. Zwischen $M = 0,8$ und $1,0$ steigt er jedoch um etwa das Fünffache, um bei Überschallgeschwindigkeit wieder abzufallen.

Der Grundriß des Flügels zeigt ebenfalls ein neues Bild. Bei Machzahlen von $1,0$ und mehr sind die Flügel um Winkel von 45° nach hinten gebogen. Man hat herausgefunden, daß diese Konstruktion den Aufschlag der Wellen

auf die Flügel abschwächt. Die Flügelsehne ist vergrößert und die Spannweite verkleinert, weil sich Flügel mit kleinem Verhältnis Spannweite zu Flügelsehne besser bewähren sollen. – Bei Überschallgeschwindigkeit wird die Vorderkante um einen größeren Winkel als 75° nach hinten gebogen, so daß der Grundriß einem Dreieck ähnlich wird. Der Rumpf muß auf ein Mindestausmaß beschränkt werden, um den Widerstand zu reduzieren, und wird in Zukunft wohl überhaupt verschwinden.

Derartige Veränderungen wirken sich in großen Vorteilen aus. Sie ermöglichen es, den gewaltigen aerodynamischen Kräften, denen das Flugzeug ausgesetzt ist, standzuhalten.

Angesichts der vielversprechenden Neuerungen kann man sich fragen, warum sich diese nicht schon lange durchgesetzt haben. – Die Antwort ist nicht weit zu suchen. Die erwähnten Veränderungen erweisen sich wohl als Vorteile für hohe Geschwindigkeiten, stellen aber für die Bedingungen des Startens und Landens ebenso große Nachteile dar. (Das Flugzeug muß bei Geschwindigkeiten von ungefähr 200 Kilometer in der Stunde starten und landen können.) Es besteht die Gefahr, daß die zurückgebogenen und dreieckförmigen Tragflächen Anlaß zum «Überziehen» geben können, was sich verhängnisvoll auswirken kann (Durchsacken).

Das Problem des Startens könnte natürlich durch Starten des Überschallflugzeuges von einem Mutterflugzeug gelöst werden, wie es in England mit führerlosen Modellen versucht worden ist. Eine andere Methode wäre die Anwendung eines mit Raketen angetriebenen Trägers auf Schienen, ähnlich etwa dem Startsystem der deutschen V 1-Raketen. – Die Landung, die sich bedeutend schwieriger gestalten würde, müßte mit Hilfe von Fallschirmen geschehen.

Zur Verkleinerung der Frontalfläche werden in Zukunft Pilot und Bedienungsmannschaft in liegender Stellung eingesetzt. In dieser Lage ist der Mensch am ehesten fähig, den großen körperlichen Anforderungen zu widerstehen.

Der Strömungswiderstand

Der Widerstand (D) nimmt mit der Geschwindigkeit zu. Um die tatsächlichen Werte zu erhalten, muß der Widerstandskoeffizient aus Bild 3 (c_D) mit der Luftdichte (d) und dem Quadrat der Flugzeuggeschwindigkeit (v^2) multipliziert werden. Es gilt also:

$$D = d \cdot v^2 \cdot c_D \quad I$$

Da die Dichte der Luft proportional dem Druck (p), dividiert durch die absolute Temperatur (T) ist, so können wir die Gleichung umformen:

$$D = p \cdot \frac{v^2}{T} \cdot c_D \quad \text{II}$$

Die Schallgeschwindigkeit (V) ist abhängig von der Quadratwurzel der absoluten Lufttemperatur (T), so daß die Gleichung schließlich folgende Form erhält:

$$D = p \cdot \frac{v^2}{V^2} \cdot \text{Konstante } K \cdot c_D$$

$$\frac{v^2}{V^2} = (\text{Machzahl } M)^2$$

$$D = p \cdot M^2 \cdot K \cdot c_D \quad \text{III}$$

Mittels dieser Gleichung läßt sich der Flugzeugwiderstand bei verschiedenen Geschwindigkeiten berechnen, ausgehend von dem in Versuchen ermittelten Standardwiderstand. Dieser wurde bei 483 Kilometer in der Stunde ($M = 0,4$) und in Meereshöhe gemessen.

Bild 4 zeigt den Widerstand bei Meereshöhe und in 12 000 Meter Höhe gegen die Machzahl aufgezeichnet. – Wir lesen daraus, daß bei $M = 1,8$ und Meereshöhe der Widerstand 50mal größer ist als bei $M = 0,4$. Um diesen Befund noch eindrücklicher zu beleuchten, ziehen wir die Zahlen einer Spitfiremaschine bei.

Hier beträgt die Widerstandskraft bei 483 Kilometer in der Stunde 450 Kilogramm. Bei $M = 1,8$ ist der Widerstand schon auf 22 700 Kilogramm angewachsen. Diese Machzahl entspricht einer Geschwindigkeit von 2200 Kilometer in der Stunde, und die dafür notwendige Antriebskraft übertrifft diejenige, die der Antrieb der «Queen Elizabeth» beansprucht!¹

Bei einer Düsenmaschine beläuft sich der Treibstoffkonsum auf 52 000 Liter in der Flugstunde, während der Raketenantrieb noch größere Mengen verschlingt. Sein stündlicher Bedarf beträgt bei $M = 1,8$ ungefähr 520 000 Liter, d. h. die zehnfache Menge vom Verbrauch des Düsenantriebes. – Daraus ist ersichtlich, daß das Fliegen bei Überschallgeschwindigkeiten in Meereshöhe nur für wenige Sekunden möglich sein wird.

Das Fliegen in großen Höhen

Das Bild ändert sich, wenn wir in größeren Höhen, also in Zonen dünnerer Luftschichten fliegen. *Bild 4* zeigt, daß in 12 000 Meter Höhe der Widerstand bei $M = 1,8$ nur mehr den zehnfachen Betrag des Standardwiderstandes ausmacht. Dementsprechend nimmt auch der Benzinbedarf ab. Ein Raketenflugzeug würde noch 28,4 Liter in der Sekunde verbrauchen.

¹ In Pferdestärken (PS) ausgedrückt ungefähr 180 000 PS!

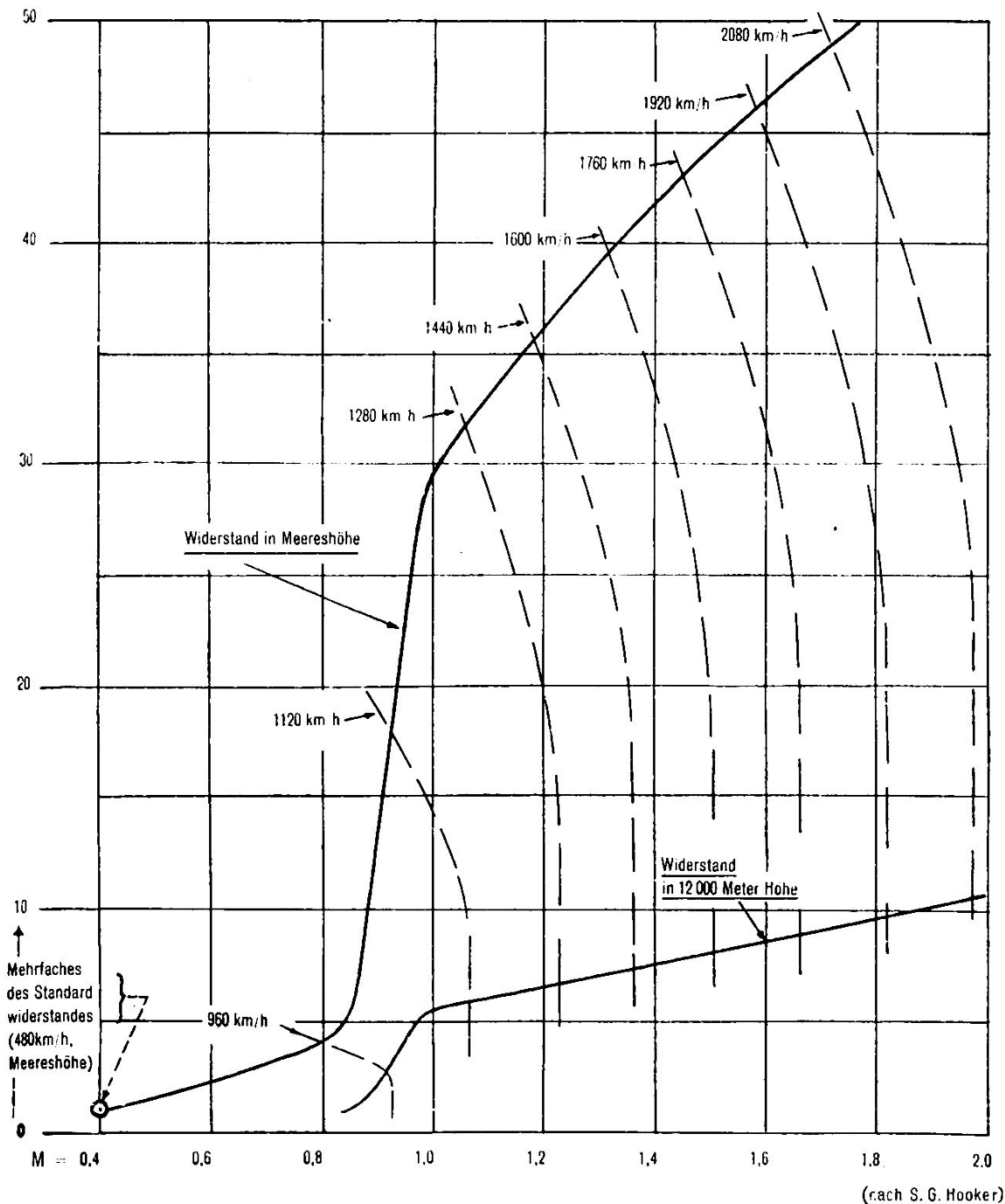


Bild 4 Luftwiderstand bei Überschallgeschwindigkeiten

– In der Tat vermag eine V 2-Rakete mit ihrem mitgeführten Benzin (10 300 Liter) 6 Minuten lang zu fliegen. Dieselbe Menge würde bei Düsenantrieb für mehr als eine Flugstunde ausreichen.

Ein anderes Beispiel. In 21 000 Meter und 18 000 Meter Höhe ist der Strömungswiderstand des mit einer Geschwindigkeit von 1600 Kilometer in der Stunde ($M = 1,35$) daherfliegenden Flugzeuges auf das zwei- und dreifache des Standardwertes gesunken.

Das Fliegen in diesen Höhen ist deshalb von zukünftiger Bedeutung.

Zur Vermeidung von Geschwindigkeitsverlusten muß die Kabine möglichst flach gebaut werden. Sie ist mit einem Luftkompressor ausgerüstet – der Atmosphärendruck in 20 000 Meter Höhe macht nur mehr 35 Millimeter Quecksilber aus –, der den Druck in der Kabine auf dem Wert des Außendruckes bei 3000 Meter Höhe hält.

Merkwürdig erscheint die Tatsache, daß sogar in diesen Höhen eine der Hauptschwierigkeiten die Kühlhaltung der Kabine ist. Infolge der großen Geschwindigkeit erfährt die Luft, die durch das Flugzeug mitgerissen wird, eine Erwärmung auf ungefähr 100°C . Die Temperatur des Rumpfs und der Flügel wird auf 85°C geschätzt. Da in einer Höhe von 20 000 Meter die Außentemperatur zirka -57°C beträgt, würde die Innentemperatur der Kabine mindestens 30°C ausmachen. Dazu kommt noch die Wärme, die durch den Luftkompressor in der Kabine erzeugt wird. Selbst mit einem Maximum an möglicher Kühlung ist also der Pilot heißer und trockener Luft ausgesetzt.

Antrieb für Überschallflugzeuge

Welche Art von Antrieb soll gewählt werden? Es kommen drei Möglichkeiten in Betracht:

1. Raketenantrieb
2. Düsenantrieb und
3. Staustrahlantrieb

Alle drei Typen beruhen auf dem Prinzip des Rückstoßes. Das Flugzeug stößt seine Verbrennungsgase in entgegengesetzter Fahrtrichtung aus und erzeugt dadurch einen Rückstoß, der es nach vorne treibt.

1. Wie wir gesehen haben, liegt der Nachteil der Rakete in dem enormen Benzinverbrauch. Das ist in erster Linie dem Umstand zuzuschreiben, daß die Rakete den benötigten Sauerstoff in Form des Treibstoffes selber mitzuführen hat. In allen andern Belangen weist sie große Vorteile auf. Sie ist leicht, mechanisch einfach und erzeugt den gleichen Vorwärtsschub in 20 000 Meter Höhe wie in Meereshöhe, was wiederum durch den Umstand der eigenen Sauerstoffmitführung bedingt ist.
2. Der Vorwärtsschub einer Düsenmaschine andererseits nimmt fast proportional mit der Luftdichte ab. Er ist ferner begrenzt durch die Maximaltemperatur in den Verbrennungskammern. – Der Düsenantrieb eignet sich also besser für Unterschallgeschwindigkeiten.
3. Der einfachste der drei Typen ist der Staustrahlantrieb. Der fundamentale Vorgang aller Wärmemaschinen besteht in der Kompression der

Arbeitsflüssigkeit, ihrer Erhitzung und ihrer Expansion. Hier, bei diesen großen Geschwindigkeiten, ist das Flugzeug selber in der Lage, die mitgerissene Luft zu komprimieren. Wenn wir also auf ein schnelles Flugzeug ein Staustrahlrohr (Eisenrohr von 1,5 Meter Durchmesser) montieren, das so geformt ist daß die Geschwindigkeit der einströmenden Luft durch Erweiterung des Rohres verzögert wird, so bewirkt der erzeugte Druckanstieg die Entzündung des Treibstoffes.

Natürlich ist dieser Antrieb bei tiefen Geschwindigkeiten nicht brauchbar, weil die Luftkompression zu klein ist. Auch das Starten vom Boden weg ist unmöglich. Erst bei Überschallgeschwindigkeiten kommt er in Betracht, und zwar in Form eines Zusatzmotors.

LITERATUR

Erinnerungen eines Militärattachés, London 1933–1937. Von Freiherr Geyr von Schwepenburg. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart.

Der Verfasser ging 1933 als erster deutscher Militärattaché nach dem ersten Weltkrieg nach London. Er war aus innerer Überzeugung englandfreundlich und setzte sich deshalb überzeugt im Sinne seines höchsten militärischen Vorgesetzten, des Generalobersten Beck, für eine auf Vertrauen und Loyalität basierende Zusammenarbeit zwischen dem englischen und deutschen Generalstab ein. Freiherr von Geyr hat als Panzergeneral während des zweiten Weltkrieges mit seiner Opposition gegen Hitler die Ehrlichkeit seiner Absichten als Militärattaché unter Beweis gestellt. Seine «Erinnerungen» sind eine flüssig geschriebene Darstellung der Zeitgeschichte in den Jahren nach Hitlers Machtergreifung, aufgezeigt vom Standpunkt eines militärisch und politisch geschulten scharfen Beobachters. Der Verfasser gibt eine klare Analyse der damaligen Verhältnisse und zeigt, wie die Maßnahmen der nationalsozialistischen Regierung alle Bemühungen von militärischer Seite zur Schaffung eines Vertrauensverhältnisses zunichte machten. Er vermittelt einen hochinteressanten Einblick hinter die Kulissen diplomatischer und militärischer Konferenzen und Abmachungen und zeichnet ein scharfes Bild der britischen Empire- und Wehrpolitik in den Jahren 1933/37. Da Freiherr von Geyr gleichzeitig als Militärattaché in Brüssel und im Haag tätig war, werden seine «Erinnerungen» zu einer umfassenden Orientierung über die westeuropäische Militärpolitik in jenen entscheidenden Jahren.

Der deutsche Militärattaché genoß in England großes Vertrauen bei den britischen Militärkreisen und hatte deshalb Gelegenheit, mit maßgeblichsten Persönlichkeiten zusammenzukommen und wichtige militärische Übungen zu besuchen. Es ist von besonderem Interesse, zu verfolgen, wie die Warnung des deutschen Militärattachés vor der englischen militärischen Kraftanstrengung von den politischen Kreisen Berlins in den Wind geschlagen wurde. Mehrfach betont von Geyr, daß die deutsche Armee in jenen Jahren viel schlechter war, als das Ausland glaubte. Er erklärt in aller Offenheit: «Blickt man auf die Entwicklung der folgenden Jahre zurück, so wird man sagen