

Flugsicherheitsmitteilung (fsm) 1/82

Flugbetrieb
Fluggeschwindigkeit

Hrsg: Luftfahrt-Bundesamt,
Flughafen, 3300 Braunschweig

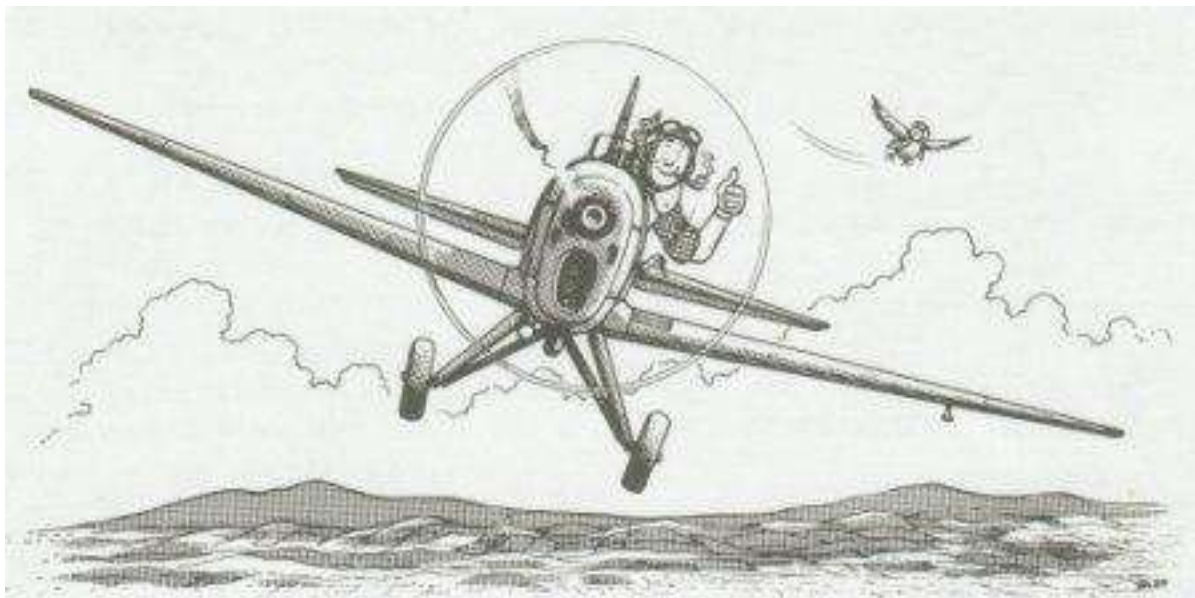
Braunschweig, den 7.6.1982
LBA 1113-985.1/82

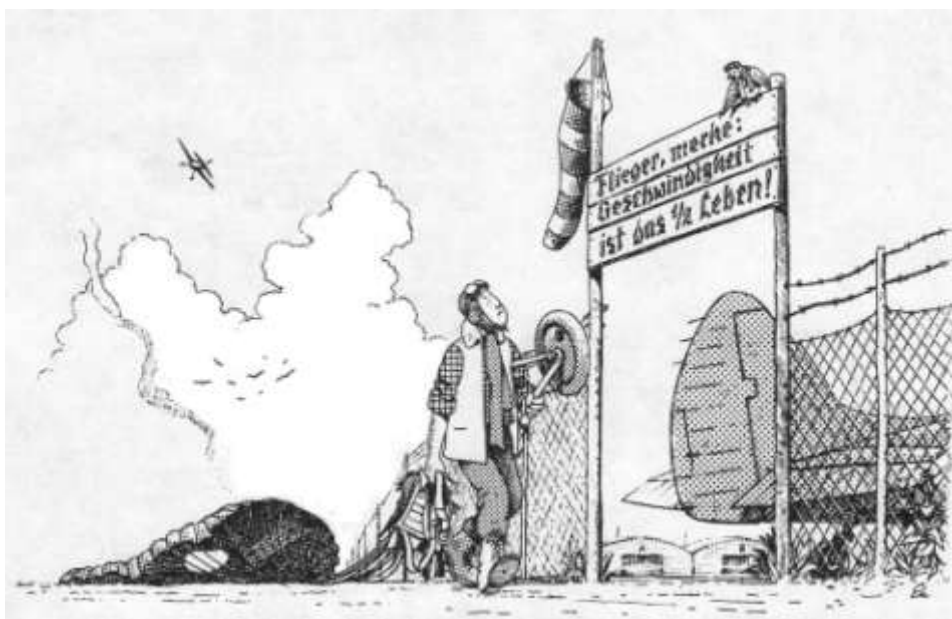
Abdruck, auch auszugsweise, nur mit Quellenangabe gestattet

Geschwindigkeit ist das halbe Leben

"Geschwindigkeit ist das halbe Leben", so lautet das eherne Gesetz, das der Flugschüler gleich zu Anfang lernt.

Wie wichtig die Beachtung dieses Gesetzes wirklich ist, zeigt ein Studium der Flugunfälle: in 14 von 189 betrachteten Unfällen der Flugzeuge mit maximaler Abflugmasse von 2000 kg war der überzogene Flugzustand ursächlich oder beteiligt. Was uns jedoch die Wiederholung dieses Themas so wichtig erscheinen läßt, ist die Tatsache, daß in 9 der 14 Fälle Menschen verletzt oder getötet wurden.





Ein wenig Theorie

Ein Gerät "schwerer als Luft" kann nur dann fliegen, wenn eine Kraft, der Auftrieb A , sein Gewicht G kompensiert. Um diesen Auftrieb zu erreichen, brauchen wir eine Flügelfläche F , deren Profilform den Auftriebsbeiwert C_A bestimmt. Von Einfluß sind ferner die Dichte der Luft ρ und die Anströmgeschwindigkeit v . Verknüpft sind diese Größen durch die bekannte Formel

$$A = C_A \cdot F \cdot \frac{\rho}{2} v^2$$

Der Auftriebsbeiwert C_A , d. h. der dimensionslos gemachte Auftrieb, hängt wiederum ab vom Anstellwinkel α , dem Winkel zwischen Profelsehne und Anströmrichtung. In den Bildern aus dem Rauchkanal des Instituts für Strömungsmechanik der Technischen Universität Braunschweig ist die Umströmung des Profils bei verschiedenen Anstellwinkeln gut zu erkennen.

Der vor dem Profil gleichmäßige Abstand der Stromlinien voneinander wird über der Profiloberseite kleiner, was zeigt, daß dort die Strömungsgeschwindigkeit höher als vor und unterhalb des Profiles ist. Da es nun einmal nichts "umsonst" gibt, müssen wir diesen Geschwindigkeitsgewinn mit einer Abnahme des statischen Druckes bezahlen. Es entsteht also über dem Profil ein Unterdruck, der den Flügel nach oben saugt, d. h. einen Teil des Auftriebes liefert. Der größere Abstand der Stromlinien unterhalb des Profiles zeigt uns entsprechend, daß dort ein Überdruck herrschen muß, der ebenfalls einen Beitrag zum Auftrieb leistet.¹⁾ * Die Bilder zeigen weiter, daß mit steigendem Anstellwinkel die Dichte der Stromlinien über dem Profil zunimmt, also der Unterdruck und damit der Auftrieb wächst. Sie zeigen aber auch, daß sich die Strömung abzulösen beginnt, wobei der Ablösepunkt bei diesem Profil mit wachsendem Anstellwinkel von der Endkante her auf der Profiloberseite nach vorne wandert, bis schließlich keine "gesunde" Umströmung des Profiles mehr vorhanden ist und der Auftrieb zusammenbricht. Betrachten wir nun die Umströmung des Profiles mit ausgefahrenen Klappen, dann sehen wir, daß bei gleichen Anstellwinkeln die Stromlinien über dem Profil

1) Anmerkung für den, der Formeln mag: es handelt sich hier um das Gesetz von Bernoulli:

$$\begin{aligned} \text{Gesamtdruck} &= \text{statischer Druck} + \text{Staudruck} = \text{konstant} \\ P_{\text{ges}} &= P_{\text{st}} + \rho/2 \cdot v^2 = \text{konstant} \end{aligned}$$

noch enger beisammen und unter dem Profil noch weiter auseinander liegen, mithin also die Klappen den Auftriebsbeiwert erhöhen.

Leider wird in den beiden Bildfolgen nicht ganz so klar deutlich, daß mit ausgefahrenen Klappen die Umströmung des Profils bei geringeren Anstellwinkeln zusammenbricht als diejenige des Profils mit eingefahrenen Klappen.

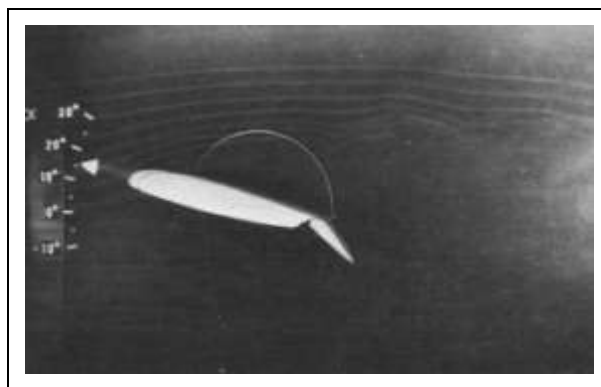
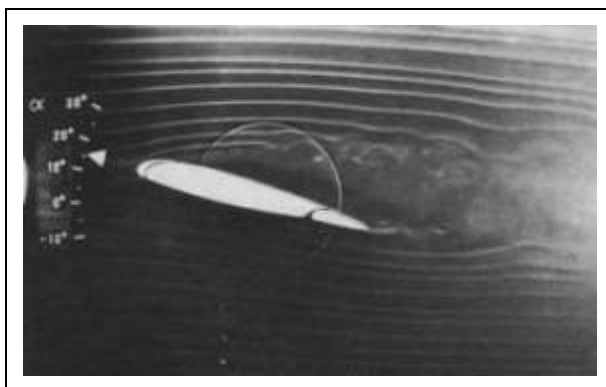
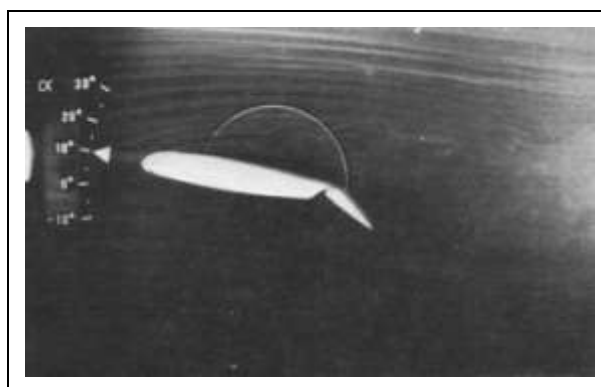
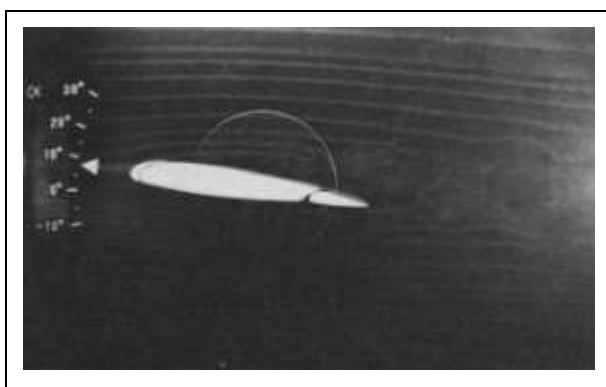
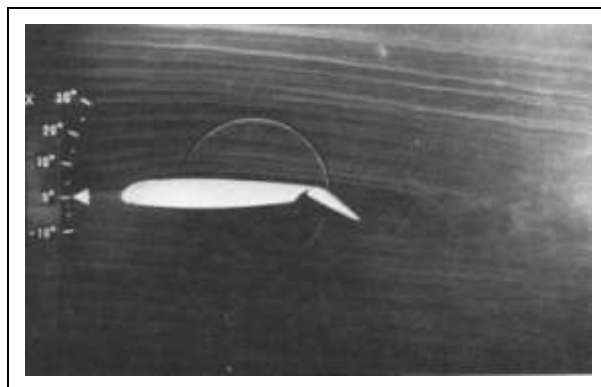
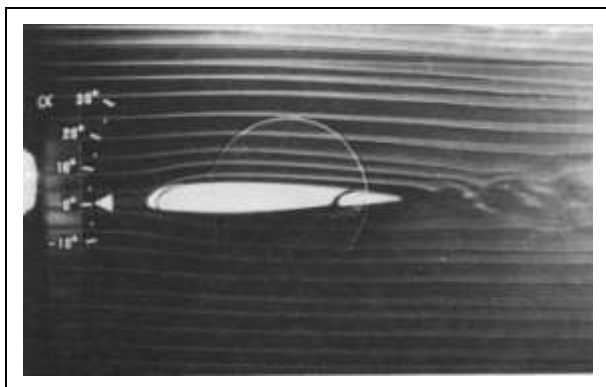


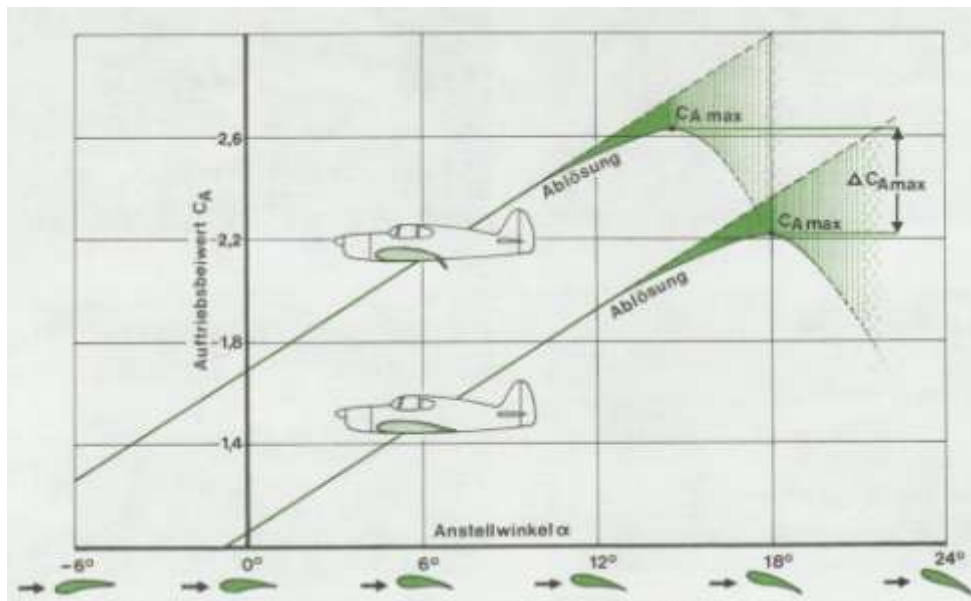
Bild 1a-c:

Die im Rauchkanal sichtbar gemachte Umströmung eines Tragflügelprofils bei verschiedenen Anstellwinkeln, Endklappen eingefahren.

Bild 2a-c:

Die Umströmung des Tragflügelprofils bei ausgefahrenen Endklappen

Was wir in den Bildern sehen konnten, bestätigen die Messungen:



Die Erhöhung des Auftriebsbeiwertes durch Vergrößerung des Anstellwinkels ist nur bis zu einem Punkt C_{Amax} möglich. Danach nimmt der Auftrieb trotz Erhöhung des Anstellwinkels ab, bricht unter Umständen sogar völlig zusammen. Das alles ist verbunden mit einer drastischen Änderung des Nickmomentes und des Widerstandes.

Die Meßreihe bestätigt auch unsere aus den Stromlinienbildern hergeleitete qualitative Aussage, daß die herausgefahrenen Klappen bei gleichem Anstellwinkel einen höheren Auftriebsbeiwert ergeben und – obwohl die Strömung in diesem Fall schon bei einem kleineren Anstellwinkel abreißt – ein höheres C_{Amax} ermöglichen. Sie mögen nun fragen, was Auftriebsbeiwert und Anstellwinkel denn überhaupt mit der Fluggeschwindigkeit, vor allem aber mit der Überziehggeschwindigkeit zu tun haben, deren Unterschreitung so gefährlich ist.

Da im stationären Horizontalflug Auftrieb (= Gewicht), Dichte und Flügelfläche feste Größen sind, gehört zu einem bestimmten Auftriebsbeiwert mit seinem Anstellwinkel eine bestimmte Geschwindigkeit.

Zu dem Punkt, an dem die Strömung abreißt, gehört also die Überziehggeschwindigkeit v_s . Das Flugzeug kippt nach vorne oder zur Seite, verliert Höhe und kann in einen Trudelzustand geraten. Der Höhenverlust kann mehrere 100 ft. betragen, was bei geringer Flughöhe, z. B. im Anfangssteigflug eben zuviel ist. Hier ist es also besonders wichtig, auf ausreichende Geschwindigkeit zu achten. Und das ist keine Theorie:

In 8 der 14 genannten Unfälle wegen Unterschreitung der Mindestfluggeschwindigkeit wurde im Steigflug die Überziehggeschwindigkeit unterschritten.

Was macht die Geschwindigkeit so tückisch?

Wenn also, wie jeder Pilot weiß, das Einhalten einer ausreichenden Geschwindigkeit derart wichtig ist, warum kommt es dann immer wieder zu Unfällen wegen Unterschreitung der Mindestfluggeschwindigkeit? Was die Geschwindigkeit so tückisch macht, ist, daß wir sie nicht "fühlen" können, sieht man von den sich mit der Geschwindigkeit ändernden Geräuschen ab. Wir müssen uns demnach auf die Anzeige des Fahrtmessers verlassen.

Messung der Geschwindigkeit

Erinnern wir uns: Der Gesamtdruck der sich bewegenden Luft P_{ges} setzt sich zusammen aus dem statischen Druck P_{st} und dem Staudruck v^2 :

$$P_{ges} = P_{st} + \frac{\rho}{2} v^2 \text{ oder}$$

$$\frac{\rho}{2} v^2 = P_{ges} - P_{st}$$

Der Gesamtdruck wird mit einem vorn offenen Rohr, dem Pitot-Rohr, gemessen (Bild 4a). Den statischen Druck, den wir vom Gesamtdruck abziehen müssen, können wir mit einer statischen Drucksonde (Bild 4b) messen. Kombiniert ergeben beide Sonden das Prandtl-Staurohr (Bild 4c). In vielen Fällen wird der statische Druck jedoch an einer anderen Stelle des Flugzeuges, z. B. an der Rumpffseite, abgenommen, wo die Strömung möglichst ungestört ist. Die beiden Drücke P_{ges} und p_t werden dem Instrument zugeführt, das letztlich den Staudruck als Differenz der beiden Drücke bestimmt und ihn als Fluggeschwindigkeit in km/h, MPH oder Knoten anzeigen kann.

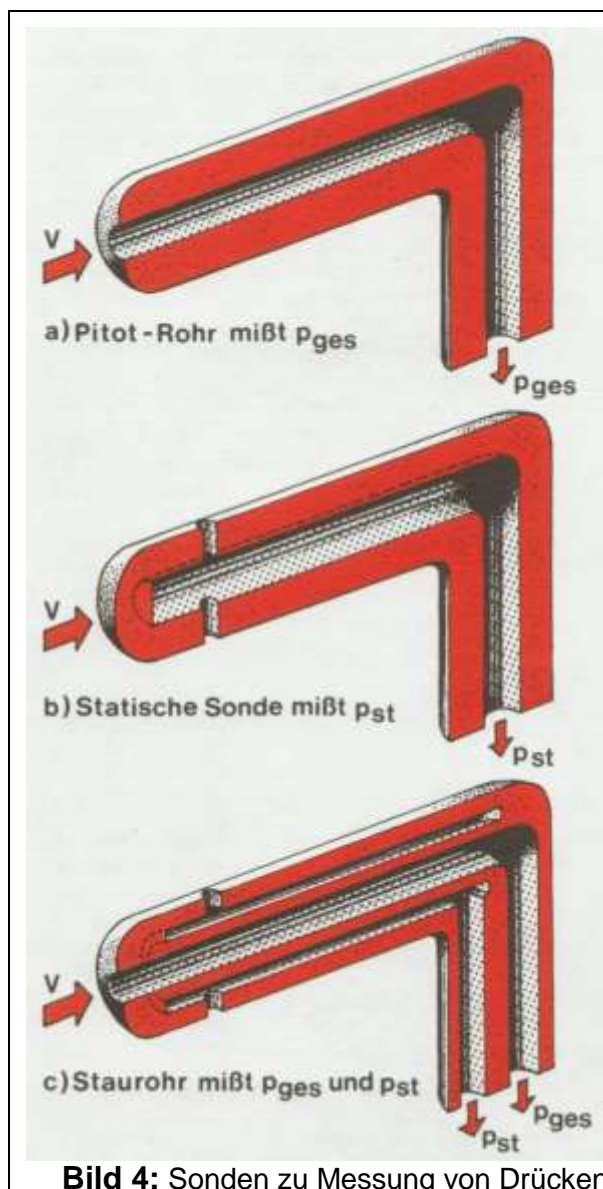


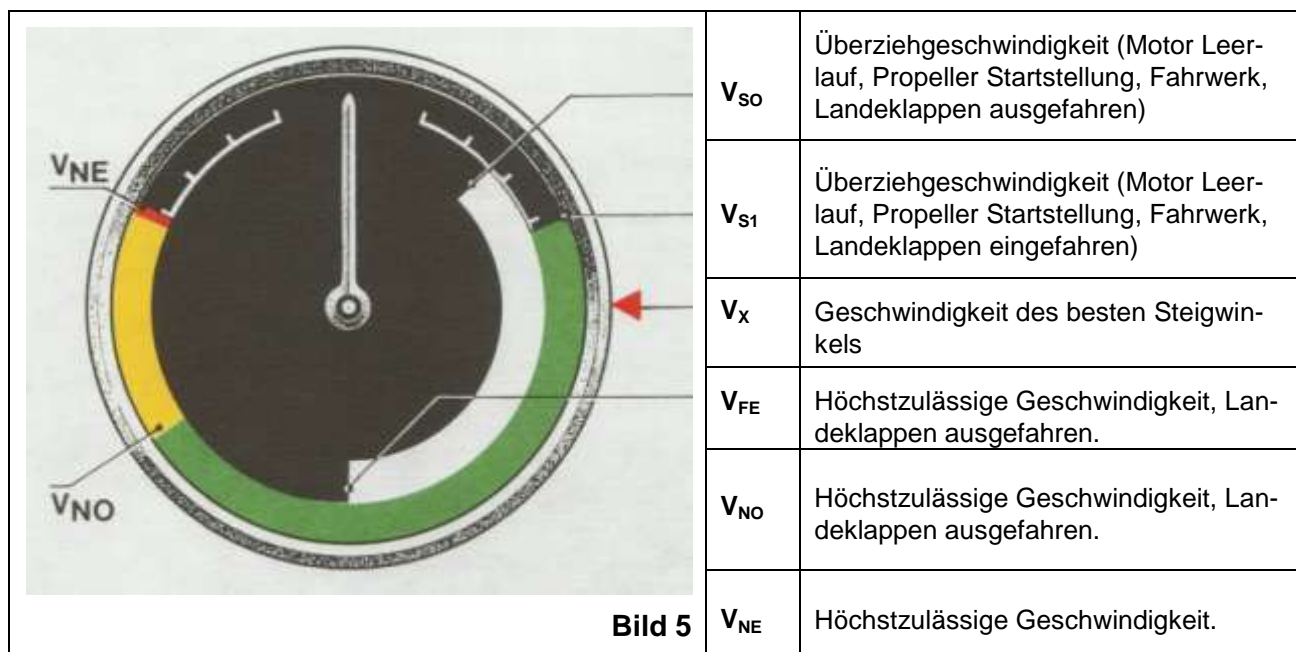
Bild 4: Sonden zu Messung von Drücken

Aus der Tatsache, daß die Anzeige der korrekten Fluggeschwindigkeit lebenswichtig ist, und aus der Beschreibung der Anlage ergeben sich folgende Sicherheitsmaßnahmen:

1. Kontrollieren Sie das Staurohr oder das Pitot-Rohr und die Meßstelle(n) für den statischen Druck vor jedem Flug! Schützen können Sie sich vor Ihrer eigenen Vergeßlichkeit, indem Sie Ihre Checkliste aus dem Flughandbuch benutzen. Wie wichtig das sein kann, darüber berichteten wir in der Flugsicherheitsmitteilung 4/81.
2. Schalten Sie rechtzeitig die Staurohr-Heizung ein, wenn Vereisung droht. Bei manchen Flugzeugen kann der statische Druck notfalls dem Kabinenraum entnommen werden (Alternate Static Source). Nutzen Sie diese Umschaltmöglichkeit!

Die Anzeige

Wir sind also auf die Anzeige des in km/h, MPH oder Knoten geeichten Fahrtmessers angewiesen, den wir uns nun noch einmal ansehen wollen:



Der weiße Bogen kennzeichnet den Geschwindigkeitsbereich, in dem die Landeklappen ausgefahren werden dürfen.

Der grüne Bogen kennzeichnet den normalen Geschwindigkeitsbereich.

Der gelbe Bogen kennzeichnet den "Vorsichtsbereich", in dem Sie nur bei ruhiger Luft und nur mit vorsichtigen Ruderausschlägen fliegen dürfen, da sonst die Gefahr einer Strukturbeschädigung besteht.

Übrigens: Die Geschwindigkeitsdifferenz $v_{S1} - v_{S0}$ finden Sie auch in unserem Bild 3 wieder, sie entspricht dem mit ΔC_{Amax} bezeichneten Abstand. Theorie und Praxis stimmen also überein.

Der Steigflug

Zwei Dinge machen den Steigflug unsicher:

1. Fehlende Hindernisfreiheit
2. Unzureichende Geschwindigkeit

Unglücklicherweise sind einige Startbahnen so kurz und an ihrem Ende mit einem Hindernis "verziert", daß es beim Steigflug schon recht knapp werden kann. Verlassen Sie sich dann nicht auf Ihr Gefühl, sondern ziehen Sie Ihr Flughandbuch zu Rate! Nur zu oft steht im Flugunfall-Untersuchungsbericht in den dünnen Worten der EDV-Sprache: "Flugvorbereitung mangelhaft".

Die meiste Luft zwischen uns und dem Hindernis schaffen wir durch Einhaltung der Geschwindigkeit des besten Steigwinkels v_X . Geschwindigkeiten ober **und** unterhalb v_X **ver-**

schlechtern den Steigwinkel. Es gibt keinen Grund, den Fahrtmesser nicht mit dieser für den Anfangssteigflug vom Sicherheitsstandpunkt her wichtigsten Geschwindigkeit zu kennzeichnen, wie in Bild 5 gezeigt.

Bei den Vorbereitungsarbeiten für diese Flugsicherheitsmitteilung haben wir festgestellt, daß diese so wichtige Geschwindigkeit in den Flughandbüchern mancher Flugzeugmuster ein recht verborgenes Dasein fristet. Das zwingt zuweilen dazu, das gesamte Flughandbuch sorgfältig zu lesen, ein gewiß nicht schädlicher Nebeneffekt.

Nach Überwindung aller Hindernisse werden Sie möglichst schnell Ihre Reiseflughöhe erreichen wollen. Im Gegensatz zur vorher genannten Geschwindigkeit des besten Steigwinkels v_x , bei der Sie die meiste Höhe gewinnen, bezogen auf die horizontal zurückgelegte Strecke, erreichen Sie die größte Höhe in einer bestimmten Zeit durch Einhalten der Geschwindigkeit für bestes Steigen, v_y , die Sie ebenfalls im Flughandbuch finden können.

Der Reiseflug

Unzureichende Fluggeschwindigkeit während des Reisefluges spielt in der Unfallstatistik keine Rolle, sieht man von den "Verwandtenbesuchen" und der "Luftakrobatik in Bodennähe" ab, bei denen die Aufmerksamkeit abgelenkt ist. Jeder sicherheits- und verantwortungsbewußte Pilot vermeidet natürlich derartige Spielereien und trägt durch sein Verhalten dazu bei, daß das Ansehen der allgemeinen Luftfahrt und der Piloten keinen (weiteren) Schaden nimmt.

Während des Reisefluges gibt es keinen Grund, in dem unteren und damit gefährlichen Geschwindigkeitsbereich zu fliegen, es sei denn, sie wollen – was wir sehr empfehlen – sich mit Ihrem Flugzeug auch im Langsamflug vertraut machen oder vertraut halten. Doch tun sie das in ausreichender Flughöhe. Sie wissen, daß zur Einweisung in ein neues Muster auch das Fliegen im Langsamflugbereich gehört, natürlich mit Fluglehrer oder Einweisungsberechtigtem. Sollten Sie bei Ihren "Überziehhübungen" in den Trudelzustand geraten, dann hilft in der Regel nur eines:

"Seitenruder dagegen - Knüppel normal"

Sie sollten sich einmal unseren "Trudelfilm" ansehen! Weil das Überziehen so gefährlich ist, verlangen die Bauvorschriften eine deutliche und unmißverständliche Warnung, die bei nicht weniger als 5 Knoten und nicht mehr als 10 Knoten oder 5 Prozent oberhalb der Überziehggeschwindigkeit einsetzen und anhalten muß, bis der überzogene Zustand auftritt.

Die Überziehwarnung kann durch die aerodynamischen Eigenschaften des Flugzeuges hervorgerufen werden. Fehlen die aerodynamischen Anzeichen des sich anbahnenden Überziehens ("Stalls") oder sind sie nicht ausgeprägt genug, die Aufmerksamkeit des Piloten zu erregen, dann müssen akustische Einrichtungen warnen. Da diese akustische Warnung so außerordentlich wichtig ist, empfehlen wir:

Funktionsprüfung der Überziehwarnung (soweit dies aufgrund der Bauart möglich ist) **vor jedem Start!**

Ergänzen Sie nötigenfalls Ihre Checkliste "Vorflugkontrolle".

Der Sinkflug

Nach dem Steigflug passiert es am häufigsten im Endanflug, daß der überzogene Flugzustand zum Unfall führt oder am Unfallgeschehen beteiligt ist. Mit Appellen an die Aufmerksamkeit ist es wohl nicht getan. Abhilfe und damit mehr Sicherheit verspricht ein "Standard-Anflug":

1. Fliegen Sie im Endanflug mit $1,3 v_S$ und konstanter Sinkrate
2. Korrigieren Sie die Sinkrate mit der Motorleistung und die Geschwindigkeit mit dem Höhenruder.

Darüber hinaus ist wichtig:

- Fahren Sie **nicht**, ohne vorher Fahrt aufgeholt zu haben, die Klappen ein. Die Überziehgeschwindigkeit mit eingefahrenen Klappen liegt höher als diejenige mit ausgefahrenen Klappen (s. Bild 5).
- Versuchen Sie **nicht**, Hindernisse vor der Landung durch "Ziehen" zu überwinden oder sich bei zu kurz geratenem Anflug bis zur Schwelle "hinzuhungern". Das kann nicht gelingen, weil die Geschwindigkeit $1,3 v_S$ bei sehr vielen Mustern in etwa der Geschwindigkeit des besten Steigwinkels entspricht. Geben Sie rechtzeitig Gas!
- **Vermeiden** Sie Schräglagen über 30° .

Die Schräglage erhöht die Überziehgeschwindigkeit, weil nicht nur das Gewicht des Flugzeuges, sondern auch die Zentrifugalkraft auf das Flugzeug einwirkt. Aus Bild 6, in dem der Anstieg der Überziehgeschwindigkeit mit wachsender Schräglage dargestellt ist, ergibt sich, daß bei einem Anflug mit $1,3 v_S$ bei einer Schräglage von 54° die Überziehgeschwindigkeit erreicht wird.

Die Überziehgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Schräglage zunächst nur wenig zu. Bei der empfohlenen maximalen Schräglage von 30° wächst die Überziehgeschwindigkeit um 7% ($= 1,07 v_S$). Die verbleibenden $0,23 v_S$ sind Ihre Sicherheit, die Sie nicht verschenken sollten.

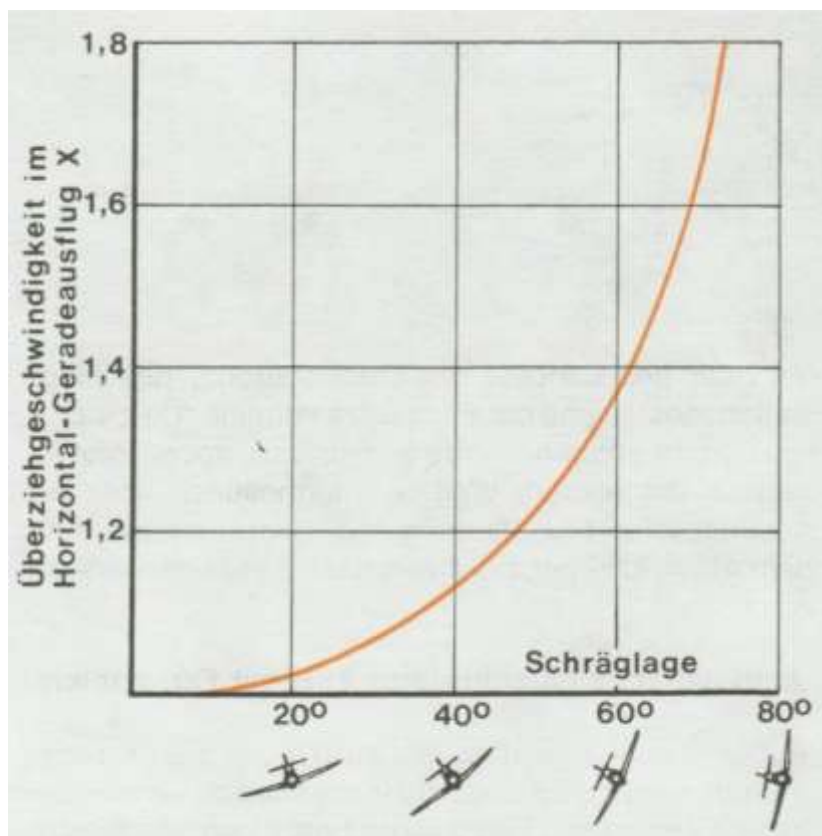


Bild 6: Schräglage erhöht die Überziehgeschwindigkeit

- Böen erschweren die Landung. Plötzliche Windrichtungswechsel oder Scherwinde verändern die Geschwindigkeit des Flugzeuges gegenüber der Luft. Hier hilft folgende Daumenregel:

Erhöhen Sie Ihre Landegeschwindigkeit um den halben Böenfaktor, den Sie folgendermaßen berechnen:

	Böengeschwindigkeit,	z. B. bis	25 kt
-	Windgeschwindigkeit,	z. B.	15 kt
=	Böenfaktor	hier	10 kt

In dem Beispiel beträgt der halbe Böenfaktor 5 kt, die Sie zu der normalen Geschwindigkeit nach dem Start und vor der Landung addieren.

- Mit den Schwierigkeiten bei Seitenwindlandungen haben wir uns in der Flugsicherheitsmitteilung 4/80 „Die Berücksichtigung des Seitenwindes“ auseinandergesetzt. Deshalb hier nur das Wichtigste: Bis zu der im Flughandbuch angegebenen nachgewiesenen Seitenwindgeschwindigkeit (Daumenregel für 90°-Seitenwind: 0,2 v5) kann ein Pilot mit durchschnittlichen fliegerischen Fähigkeiten sicher landen.

Bei größeren Seitenwindgeschwindigkeiten sollten Sie, wenn nicht andere Gründe dagegenstehen, auf einen Flugplatz ausweichen, dessen Landebahnrichtung eher der Windrichtung entspricht.

- Eisansatz verändert die aerodynamischen Eigenschaften des Flugzeuges. Über die Gefahren der Vereisung sowie über Möglichkeiten zu deren Vermeidung und Abwehr informierten wir Sie in der Flugsicherheitsmitteilung 2/81.
- Tragflügelprofile von Motorseglern und Segelflugzeugen sind "nässeempfindlich". Beachten Sie den im Flughandbuch empfohlenen Sicherheitszuschlag (Daumenregel: 10 km/h).

Wenn Ihnen Ihre besorgte Ehefrau den wohlmeinenden Rat mit auf den Weg gibt, nicht zu schnell zu fahren, dann hat das wohl seine Berechtigung. Doch in der Fliegerei gelten andere Gesetze.

Hier gilt:

Geschwindigkeit ist das halbe Leben.