

Die Endphase eines thermischen Zielfluges

von Dr. R. EPPLER, Ottobrunn

Vortrag am 8. OSTIV-Kongreß, Köln (Deutschland), Juni 1960

1. Übersicht

Man weiß seit längerer Zeit, wie man bei einem thermischen Überlandflug fliegen muß, um die größtmögliche mittlere Geschwindigkeit zu erreichen. Am einfachsten ist es, etwa nach der Ringskala von McCready die Geschwindigkeiten im Geradeausflug nach der mittleren Aufwindstärke einzurichten. Diese Methode ist vollkommen unabhängig von Wind und Höhe. Auch am Ende eines Zielfluges oder an einer Wendemarke beim Dreieckflug, die in bestimmter Höhe angefliegen werden muß, hat man dann die beste mittlere Geschwindigkeit, wenn man Ziel oder Wendepunkt mit der zur Aufwindstärke gehörenden Geradeausfluggeschwindigkeit in der richtigen Höhe erreicht. Dies erfordert, im letzten Aufwind vor dem Ziel genau so viel Höhe zu holen, daß man mit der zur Steiggeschwindigkeit im Aufwind gehörenden Einstellung der McCready-Skala an der vorgegebenen Stelle in der richtigen Höhe ankommt. Hierbei spielen nun Standort und Windgeschwindigkeit eine wichtige Rolle; außerdem muß die Gleitzahl beachtet werden, die zu einer Skaleneinstellung gehört. Es wird ein einfaches Gerät beschrieben, mit welchem der Höhenverlust im letzten Teil des Zielfluges bei vorgegebener Reststrecke und Windkomponente leicht ermittelt werden kann.

Die beschriebene Aufgabenstellung verdanke ich Herrn Dipl.-Ing. Ernst Günther Haase, der selbst bei Zielflügen ein Diagramm verwendet hat. Allerdings war dasselbe unhandlicher und erlaubte nicht die Berücksichtigung des Windes.

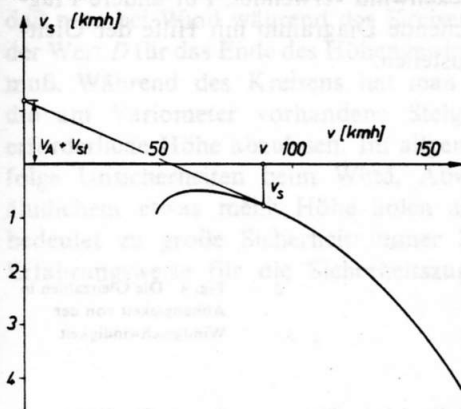


Fig. 1 Bestimmung der optimalen Geradeausflug-Geschwindigkeit v aus der Gleitflug-Geschwindigkeit

2. Die flugmechanischen Grundlagen

Die erste Voraussetzung für optimales Fliegen ist die genaue Kenntnis der Flugleistungen des benützten Segelflugzeuges. Nach K. Nickel und P. McCready [1, 2] kann man die optimalen Möglichkeiten beim thermischen Überlandflug am einfachsten aus der Gleitflugpolaren des Segelflugzeuges entnehmen. In Fig. 1 ist skizziert, auf welche Weise dies geschieht. Nimmt man an, das Steigen im Aufwind erfolgte mit der mittleren Steiggeschwindigkeit v_{St} , und beim anschließenden Geradeausflug sei ein Abwind der Geschwindigkeit v_H vorhanden, dann existiert eine optimale Horizontalfluggeschwindigkeit, bei welcher man zwischen zwei Punkten gleicher Höhe die beste mittlere Geschwindigkeit erzielt. Man findet gemäß Fig. 1 den Wert v , indem man

$v_A + v_{St}$ auf der vertikalen Achse nach oben abträgt und von diesem Punkt aus die Tangente an die Geschwindigkeitspolare zieht. Die Schwierigkeit, daß man den Wert v_A im Geradeausflug schwer ermitteln kann, ist mit der Ringskala von McCready zu umgehen. Der Spezialfall $v_{St} = 0$, also zu verschwindender Steiggeschwindigkeit im Aufwind (Nullschieber) die beste Geradeausfluggeschwindigkeit zu finden (übrigens gleichbedeutend mit der Aufgabe, bei Windstille und vorgegebenem Ab- bzw. Aufwind den besten Gleitwinkel zu finden), ist leicht zu lösen. Zieht man an die Polare eine Anzahl von Tangenten bei gewissen Werten v , dann bekommt man die Sinkgeschwindigkeit v_S am Berührungspunkt, und, bei $v_{St} = 0$, die Abwindgeschwindigkeit v_A als Achsenabschnitt. Macht man nun am Variometer beim Sinkgeschwindigkeitswert $v_S + v_A$ eine Marke mit dem Wert v , und wiederholt

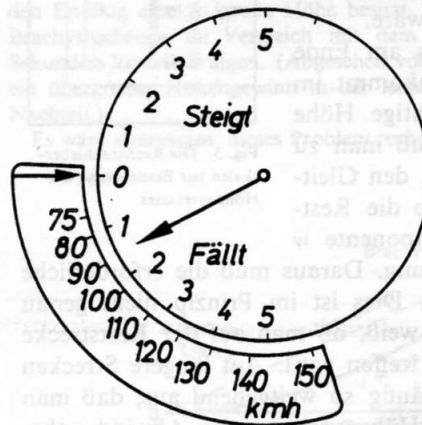


Fig. 2 Die McCready-Ringskala am Variometer

dies für viele Werte, so wie es in Fig. 2 dargestellt ist, dann fliegt man unter Einbeziehung des Abwindes immer dann mit dem bestmöglichen Gleitwinkel, wenn die an dem Variometer angezeigte Geschwindigkeit auch am Fahrtmesser vorhanden ist. Macht man die v -Marken auf einen drehbaren Ring, dann kann man den bis jetzt unberücksichtigten Wert der Steiggeschwindigkeit v_{St} im Aufwind leicht zum Wert v_A addieren, indem man einfach diejenige Marke, die bisher bei der Variometerstellung 0 war, um den Wert v_{St} verstellt. Dies ergibt allerdings nur bei Variometern mit linearer Skala die richtige Addition. Der verstellbare Ring ist genau die Ringskala von McCready, die im Leistungssegelflug heute viel benützt wird.

Es gibt viele verschiedene Ansichten über den besten Einstellungswert v_{St} an der Ringskala. Teilweise wird angegeben, man soll die mittlere Steiggeschwindigkeit v_{St} im Aufwind (nicht am Variometer) mit Stoppuhr und Höhenmesser ermitteln und im darauffolgenden Geradeausflug den gewonnenen Wert v_{St} an der Ringskala einstellen. Andere Flugzeugführer befürworten, man soll den Wert v_{St} einstellen, den man im nächsten Aufwind erwartet. Hat man dann Befürchtungen, überhaupt wieder einen Aufwind zu finden, dann stellt man die Skala auf 0 und hat dann die größte Wahrscheinlichkeit, nicht abzusaufen. Die zweite Lesart ist im

allgemeinen als die vorsichtigere zu empfehlen. Am Ende eines Zielfluges jedoch, wo man sich um ein Absaufen nicht mehr kümmern muß, ist die erste Lesart die bessere; man kann sogar die letzte, am Variometer angezeigte Steiggeschwindigkeit einstellen, da man sich von da ab nicht mehr um Aufwindsuchen und ähnliche Dinge kümmern muß, welche die mittlere Steiggeschwindigkeit herabsetzen würden.

In der Endphase eines Zielfluges, bei dem es auf optimale Geschwindigkeit ankommt, kann man nun nicht mehr allein mit der Ringskala fliegen, man muß dafür sorgen, daß man mit der richtigen Einstellung auch noch in der richtigen Höhe am Ziel ankommt. Im allgemeinen wird man nur noch die Landeinteilung fliegen müssen. Kommt man zu hoch an, dann hätte man durch schnelleres Fliegen Zeit gewinnen können, und auch beim Fliegen schneller als nach Skala hat man im Aufwind Zeit verschonkt. Man wäre früher am Ziel gewesen, wenn man im letzten Aufwind früher abgebrochen hätte und nach Skala mit kleinerer Geschwindigkeit ins Ziel geflogen wäre.

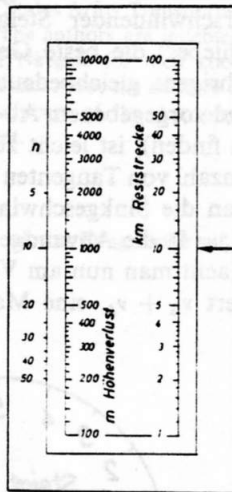


Fig. 3 Die Rechenschieberskalen zur Bestimmung des Höhenverlustes

Man erkennt, daß es am Ende eines Zielfluges darauf ankommt, im letzten Aufwind die richtige Höhe zu gewinnen. Hierzu muß man zu der Skaleneinstellung v_{St} den Gleitwinkel β kennen, ebenso die Reststrecke D und die Komponente w des Windes in Flugrichtung. Daraus muß die erforderliche Höhe errechnet werden. Dies ist im Prinzip nicht genau möglich, da man nicht weiß, ob man auf der Reststrecke viel Ab- oder Aufwind treffen wird. Auf längere Strecken gleicht sich dies aber häufig so weitgehend aus, daß man bei der Berechnung des Höhenverlustes den Abwind unberücksichtigt lassen kann. Unter dieser Voraussetzung erfordert die Berechnung des Höhenverlustes folgende Schritte:

- a) zu jeder Einstellung v_{St} ist unter der Voraussetzung $v_A = 0$ der Gleitwinkel β_0 oder die Gleitzahl

$$n_0 = \frac{1}{\varepsilon_0} = \text{ctg } \beta_0$$

zu ermitteln. Dies kann in der Gleitflugpolare gleichzeitig mit der Erstellung der Ringskala ein für alle Male geschehen. Dabei fällt auch die Geschwindigkeit v_0 an, die ohne Auf- oder Abwind zu v_{St} gehört.

- b) Zur Gleitzahl n_0 gehört, wenn ein Rückenwind w vorhanden ist (Gegenwind negativ) die effektive Gleitzahl:

$$n = n_0 \left(1 + \frac{w}{v} \right)$$

- c) Zur Gleitzahl n gehört bei gegebener Reststrecke D ein Höhenverlust von

$$\Delta h = \frac{D}{n}$$

Diese drei Schritte sind zwar insgesamt sehr einfach, jedoch nicht so, daß man sie während des Steigens im Auf-

wind durchführen kann. Man muß dem Flugzeugführer alle erdenklichen Erleichterungen verschaffen, wenn er nicht bei der Errechnung der erforderlichen Höhe mehr Zeit verlieren soll, als durch falsches Fliegen. Dies erfolgt mit Hilfe des im folgenden beschriebenen Nomogramms.

3. Das Nomogramm

Die Division im Schritt c) des vorangehenden Abschnittes wird am einfachsten mit drei logarithmischen Skalen in der Art des Rechenschiebers erledigt. In Fig. 3 ist dargestellt, wie die Skalen anzuordnen sind. Man denke sich die beiden rechten Skalen für Δh und D fest miteinander verbunden, ebenso den Pfeil und die linke Skala für n . Dann muß beispielsweise, wenn der Pfeil auf $D = 10$ km steht, bei $\Delta h = 1000$ m der Wert $n = 10$ erscheinen, bei $\Delta h = 500$ m der Wert $n = 20$ und so weiter. Geht die Skala für Δh logarithmisch nach oben, dann geht diejenige für n ebenso nach unten. Ist auch die Skala für D im gleichen Zehnermaßstab logarithmisch wie diejenige für Δh , dann kann man diese beiden Skalen verschieben, und man erhält für jede andere D -Einstellung am Pfeil an jeder Marke n den richtigen Wert für Δh , genau wie an jedem Rechenschieber.

In den Schritten a) und b) ist für jeden Wert v_{St} ein n_0 und dazu in Abhängigkeit vom Wind w eine Serie von Werten n gegeben. Man kann diese Serien nach Fig. 4 als Kurven über w auftragen. Als Maßstab für n wählt man dabei den gleichen logarithmischen, wie er in den Rechenschieberskalen des Schrittes c) verwendet wird. Als Beispiel wurde in Fig. 4 für die gemessene Polare des Segelflugezeugs FS 24 Phönix das Ergebnis der Schritte a) und b) dargestellt. Als Windgeschwindigkeiten wurden dabei Werte von 50 km/h Gegenwind bis 50 km/h Rückenwind verwendet. Für andere Flugzeuge ist das entsprechende Diagramm mit Hilfe der Gleitflugpolare leicht aufzustellen.



Fig. 4 Die Gleitzahlen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

Man bemerkt, daß die Linie für $v_{St} = 0$ nur für Rückenwind eingetragen ist. Dies ist insofern sinnvoll, als es nur bei Rückenwind einen Wert hat, ganz schwache Aufwinde, bei denen im Mittel kein Steigen erzielt wird, zu verwenden. Die Linie für $v_{St} = 0,5$ m/sek geht nur bis zum Gegenwind von 35 km/h. Dies bedeutet, daß man bei einem mittleren Steigen von 0,5 m/sek nur vorankommt, wenn man weniger als 35 km/h Gegenwind hat.

Die Kombination der Kurvenschar von Fig. 4 und der Rechenschieber-Skalen von Fig. 3 kann nun ganz einfach erfolgen. Man hat nichts anderes zu tun, als die Skala für Δh an der Stelle des vorhandenen Windes w senkrecht anzulegen. Die Höhenlage wird durch die Reststrecke D bestimmt, die an der gekennzeichneten Marke eingestellt wird. Der Vorgang ist in Fig. 5 für eine Reststrecke von 30 km und einen Rückenwind von 10 km/h dargestellt. Um die Einstellung noch zu erleichtern, wurde die Marke für die Ein-

stellung des Wertes D noch als Skala für Gegen- und Rückenwind ausgebildet. Sie muß dann um die Breite des Rechenschieberteilcs nach rechts versetzt sein. Die erforderliche Höhe kann man sofort an der Stelle ablesen, an welcher die Linie für den eingestellten Wert v_{st} die Skala für den Höhenverlust trifft.

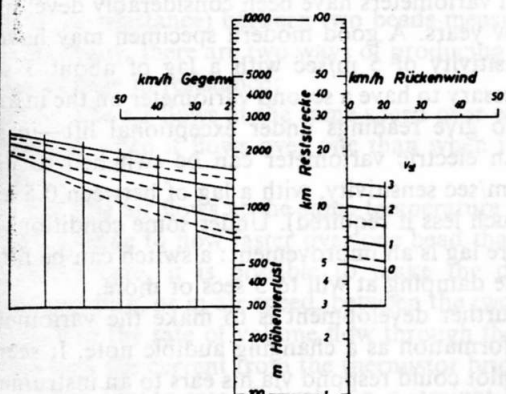


Fig. 5 Anwendung des Nomogramms für 10 km/h Rückenwind und 30 km Reststrecke

4. Die Verwendung im Flug

Um die beiden Teile des Nomogramms immer beieinander zu haben, klebt man das Kurvenbild am besten auf ein kleines Eisenblech auf und befestigt an den Skalen Δh und D kleine Magneten. Die Windkomponente, also die Rechts-links-Verschiebung der Skalenleiter, kann man für eine Flugrichtung schon am Anfang des Fluges oder des Flugteilstückes festlegen und einstellen. Die Reststrecke D muß möglichst gleich zu Beginn des Kreises anhand der Karte ermittelt, und, wenn man in die Nähe des Ziels kommt, ebenfalls eingestellt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß man bei Wind während des Kreises versetzt wird und der Wert D für das Ende des Höhengewinns eingesetzt werden muß. Während des Kreises hat man dann nur noch für die am Variometer vorhandene Steiggeschwindigkeit die erforderliche Höhe abzulesen. Im allgemeinen wird man infolge Unsicherheiten beim Wind, Abwind, Landung und ähnlichem etwas mehr Höhe holen als errechnet, jedoch bedeutet zu große Sicherheit immer Zeitverlust. Gewisse Erfahrungswerte für die Sicherheitszugabe sind rasch er-

flogen. Wendet man das Nomogramm auf größere Entfernung an, dann kann man leicht nach einiger Zeit im Geradeausflug nachkontrollieren, ob alles planmäßig verläuft, indem man nur einen anderen Wert für D einstellt. Außerdem kann man das Nomogramm auch umgekehrt anwenden, und nach einem etwas frühzeitig endenden Aufwind, oder nach einem lange benützten, feststellen, welche Einstellung auf der Ringskala gewählt werden muß, um bei vorgegebenem D , Δh und w das Ziel richtig zu erreichen.

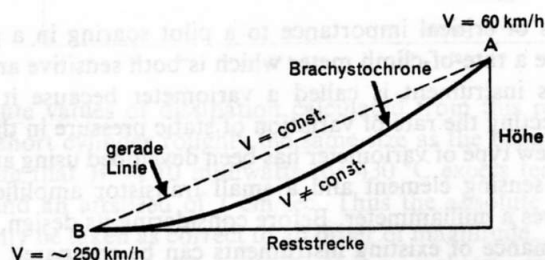
Besonders wichtig wird das beschriebene Nomogramm im Dreieckflug, wo für die Beurteilung an jeder Wendemarke eine vorgegebene Höchst-Höhe eingehalten werden muß. Insbesondere bei kürzeren Dreieckstrecken besteht dann der Flug fast nur noch aus sogenannten Endphasen.

Bemerkungen von Ing. Julian Bojanowski

Bei den theoretischen Betrachtungen der Endphase eines Zielfluges wird meistens der Anflug entlang einer geraden Linie angenommen. Wenn wir annehmen, daß ein modernes Segelflugzeug mit seinem kleinen Flugwiderstand dem Materialpunkt ähnlich ist, der sich im Potentialfeld der Erdbeschleunigungskraft bewegt, so bekommen wir die kürzeste Flugzeit von A nach B in jenem Falle, wenn sich das Segelflugzeug entlang einer Brachystochrone (und nicht einer geraden Linie) bewegt.

Wenn ein Segelflieger mit dem Rechenschieber feststellt, daß er für den Endflug eine zu große Höhe besitzt, so kann ein Flug nach der Brachystochrone im Vergleich mit dem geradlinigen Anflug einige Sekunden Vorteil bringen. (Abgesehen von taktischen Erwägungen ist ein übergroßer Höhengewinn in der letzten Anflugphase immer von Nachteil.)

Es wäre interessant, dieses Problem rechnerisch genauer zu studieren.



Literaturnachweis

- [1] K. Nickel, Die günstigste Geschwindigkeit im Streckensegelflug. Thermik 2 (1949), S. 168.
- [2] K. Nickel, Die McCreadysche Ringskala. Thermik 3 (1950), S. 80.