



Zu einigen Aspekten der Optimierung von Streckensegelflügen

von W. Morgner

0. Vorwort

1. Einleitung

- 1.1. Allgemeines
- 1.2. Grundlagen der Streckenflugtechnik
- 1.3. Die drei Abschnitte des Streckenflugs

2. Optimaler Höhengewinn in der Thermik

- 2.1. Aufsuchen der Thermik
- 2.2. Einfliegen in die Thermik
 - 2.2.1. Aufwinde mit unterschiedlichem Steigen
 - 2.2.2. Wahl der Drehrichtung
 - 2.2.3. Hochgezogene Fahrtkurve
- 2.3. Zentrieren
- 2.4. Veränderung des Aufwinddurchmessers mit der Höhe
- 2.5. Korrektur des Windeinflusses
- 2.6. Lokalisieren
- 2.7. Geschwindigkeit und Schräglage beim Kreisen in ruhender Luft
- 2.8. Geschwindigkeit und Schräglage beim Kreisen in „engem“

und „weitem“ Steigen

2.9. Ausfliegen aus der Thermik

2.9.1. Ausflughöhe

2.9.2. Ausflugweg und Ausfluggeschwindigkeit

3. **Optimaler Geradeausflug zwischen den Aufwindgebieten**

3.1. Allgemeine Regeln

3.2. Optimale Fluggeschwindigkeit in Abhängigkeit von Rücken-, Gegen-, Auf- und Abwind

3.3. Fliegen mit Sollfahrt

3.4. Rechnerische Ermittlung der maximalen Reisegeschwindigkeit und der dafür erforderlichen optimalen Fluggeschwindigkeit

4. **Zielanflug**

5. **Einfluß des Windes bei Zielstreckenflügen mit Rückkehr zum Startort**

6. **Zusammenfassung**

7. **Literaturhinweise**

0. Vorwort

Diese Ausarbeitung soll und kann kein Ersatz für die auf dem Markt befindlichen Bücher über Streckensegelflug sein. Es wird der Versuch gemacht, wissenschaftlich interessierten Segelfliegern, auf einige Aspekte hinzuweisen, die es gibt, um den Streckenflug zu optimieren, indem theoretisch noch vorhandene Reserven aufgedeckt werden. Zur weiteren Vertiefung des Stoffs muss unbedingt auf 2 ausgezeichnete Bücher hingewiesen werden, nämlich das von G. Wissmann „Methodik und Technik des Leistungssegelflugs“ [1] und auf das von H. Reichmann „Streckensegelflug“ [2]. Das Buch von G. Wissmann war ein offizielles Lehrbuch der GST in der DDR und es ist heute nur noch antiquarisch erhältlich. Meine Frau, Irmgard Morgner, hat an diesem Buch mitgewirkt und von ihr stammen auch die Zeichnungen dazu, von denen einige in der vorliegenden Ausarbeitung zitiert werden. Auch aus dem Buch von H. Reichmann werden aus der 1976 erschienenen Auflage (inzwischen gibt es die verbesserte 5. Auflage aus dem Jahre 2005) einige Darstellungen, jedes mal ordentlich zitiert, entnommen.

Die Ausarbeitung behandelt **nicht** den Wettbewerbsflug, **nicht** den Gebirgsflug, **nicht** den Flug in der langen Welle und auch der Teamflug wird nur kurz erwähnt. Die Ausarbeitung endet dort, wo eigentlich der moderne Segelflug schon längst Fuß gefasst hat, nämlich bei der Anwendung moderner Mikroelektronik für den computergestützten Streckensegelflug. Deshalb soll die Ausarbeitung auch dazu anregen, evtl. einen solchen II. Teil zu schreiben, der neben wettbewerbstaktischen Themen vor allem auch den Einsatz elektronischer Variometer, Sollfahrtgeber, GPS, Flarm, Logger und Transponder behandeln müßte.

Prof. Dr. Winfried Morgner, Eichenbarleben bei Magdeburg, im Januar 2009

1. Einleitung

1.1. Allgemeines

Die hohe Schule des Segelflugs ist der Streckenflug. Die gesamte theoretische und flugpraktische Ausbildung, wie

- Geradeausflug,
- Kreisflug,
- Landung,
- Landen aus ungewohnter Position,
- hochgezogene Fahrtkurve,
- Einweisung in die Thermik,
- Navigatorische Einweisung usw.

dienen der Vorbereitung auf das eine Ziel: **den Streckenflug**. Wenn man diese Vorbereitung durchlaufen hat, muss alles unternommen werden, damit wirklich „auf Strecke gegangen“ wird. Diese Ausarbeitung ist ein Versuch, auf einige theoretisch oftmals noch vorhandene Reserven hinzuweisen, die genutzt werden können, um den Streckensegelflug zu optimieren. Dabei soll ausgehend von unseren mitteldeutschen Verhältnissen ausschließlich der Streckenflug **unter Ausnutzung der Thermik, vorwiegend im Flachland**, besprochen werden.

Die vorliegende Ausarbeitung umfasst die klassischen Grundlagen der Streckenflugtechnik in den drei Phasen: Höhengewinn im thermischen Aufwind, Geradeausflug zwischen den Steiggebieten und Zielanflug. Es fehlt noch, wie bereits im Vorwort erwähnt, ein Teil II, wo die Verwendung moderner elektronischer und rechentechnischer Hilfsmittel für den Streckenflug wie GPS-Navigation, Gleitpfadrechner, Recorder, FLARM und Transponder sowie die Streckenflugtaktik bei zentralen und dezentralen Wettbewerben behandelt werden müsste.

1.2. Grundlagen der Streckenflugtechnik

Unter der **Technik** des Streckensegelflugs soll , wie in der Gliederung zum Ausdruck kommt,

- das optimale Verhalten beim Höhengewinn in der Thermik, d.h., beim Aufsuchen, Einfliegen, Zentrieren und Lokalisieren der Thermik, der optimale Kreisflug und das Ausfliegen aus der Thermik, verstanden werden, aber auch
- der optimale Geradeausflug zwischen den Aufwindgebieten mit seinen allgemeinen Regeln, die optimale Fluggeschwindigkeit in Abhängigkeit von Rücken-, Gegen-, Auf- und Abwind, das Fliegen mit Sollfahrt, die rechnerische Ermittlung der max. Reisegeschwindigkeit und die dafür erforderliche Fluggeschwindigkeit.
- Schließlich gehört auch der Zielanflug mit den verschiedenen Hilfsmitteln dazu. Im Unterschied zur Taktik des Streckensegelflugs, welche beim Wett-

bewerbsfliegen eine herausragende Rolle spielt, soll die hier besprochene Streckenflugtechnik die richtige Ausnutzung einiger mathematisch-physikalischer, aerodynamischer und meteorologischer Zusammenhänge für einen optimalen Streckenflug erläutern.

- Das gilt auch für den Abschnitt „Einfluss des Windes bei Zielstreckenflügen mit Rückkehr zum Startort,“ der von vornherein die natürlichen Grenzen für eine zu stellende Aufgabe mit Rückkehr zum Startort aufzeigen soll.

1.3 Die drei Abschnitte des Streckenflugs

Optimaler Streckenflug bedeutete in den Anfängen des Streckensegelflugs vor allem, soweit wie möglich zu fliegen, während heute, vor allem bei Wettkämpfen, im Vordergrund steht, eine vorher festgelegte Strecke mit möglichst hoher Geschwindigkeit, bzw. in einer festgelegten Zeit eine maximale Strecke in einem begrenzten Flugraum zurückzulegen.

Wie wir aus der im Voraus gezeigten Gliederung entnehmen können, gehören zu jedem Streckenflug drei Phasen:

- der Höhengewinn im thermischen Aufwind,
- der Geradeausflug zwischen den Aufwinden und
- der Zielflug .

Alle drei Phasen müssen optimal, d.h. so schnell wie möglich gemeistert werden. Wo gibt es hier noch Reserven?

Beginnen wir im nächsten Abschnitt mit dem Höhengewinn in der Thermik

2. Optimaler Höhengewinn in der Thermik

2.1. Aufsuchen der Thermik

Bei der Thermiksuche sollte man sowohl den Luftraum als auch den Boden nach positiven Merkmalen für gute thermische Aussichten absuchen.

Dazu gehören in Bodennähe:

- das Geländere relief: Berggipfel, Waldkanten,
- der Bewuchs: Nadelbäume, Getreidefelder, Äcker
- die Bodenstruktur: Steine, Kies, Sand, Ton, Wasser / Grundwasser (in abnehmender Reihenfolge).

Bezüglich des Luftraums, sollte man :

- Wolken mit scharfen Konturen und mit Quellungen aufsuchen,
- nach kreisenden Segelflugzeugen und Vögeln Ausschau halten,
- aufsteigenden Rauch von Schornsteinen und
- sich vom Boden ablösende Staubwirbel beachten

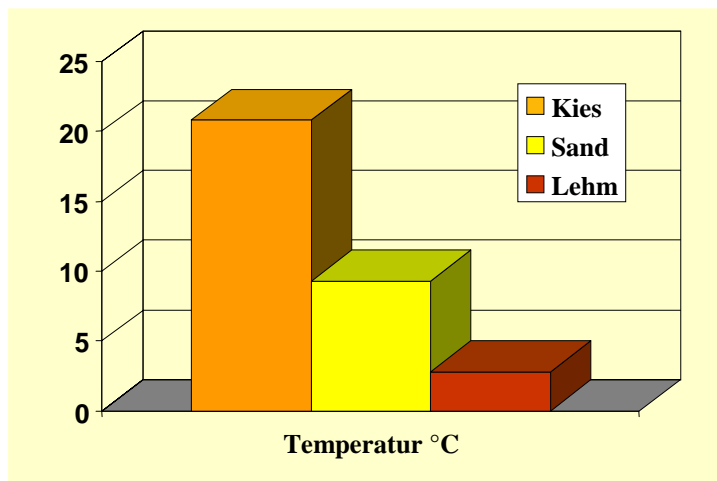


Bild 1: Unterschiedliche Erwärmung des Bodens bei gleicher Sonneneinstrahlung

Im Zusammenhang mit der Bodenstruktur ist es von Interesse, sich mit der sog. Geländeklimatologie (Bild 1) etwas näher zu beschäftigen. Denn Messungen haben gezeigt, dass z.B. bei einer pauschalen Lufttemperatur von 21,8°C die oberen Bodenschichten völlig unterschiedliche Temperaturen von 20,8°C für Kies, 9,3°C für Sand und 2,8° für Lehm haben können. Beste Verhältnisse liegen also bei Stein und Kies vor, dann kommt in abnehmender Reihenfolge Sand als Moränenablagerung, Dünen sand, Talsand (im Überschwemmungsgebiet der Elbe z.T. bis zu 10 m tief), Geschiebemergel, Lehm und Ton.

Natürlich ist es dabei außerdem von Bedeutung, ob diese Bodenschichten trocken oder feucht sind. Daher ist es zusätzlich von Interesse, zu wissen, wie der Grundwasserspiegel ist. Deshalb sind auch hydrologische Karten von Interesse. Wenn der Grundwasserspiegel mehr als 0,5 m der Erdoberfläche nahe kommt, beeinträchtigt er die Thermikverhältnisse negativ. Nicht zuletzt ist die positive Wirkung von Sand und Kies auf die Thermik auch auf die gute Wasserdurchlässigkeit zurückzuführen.

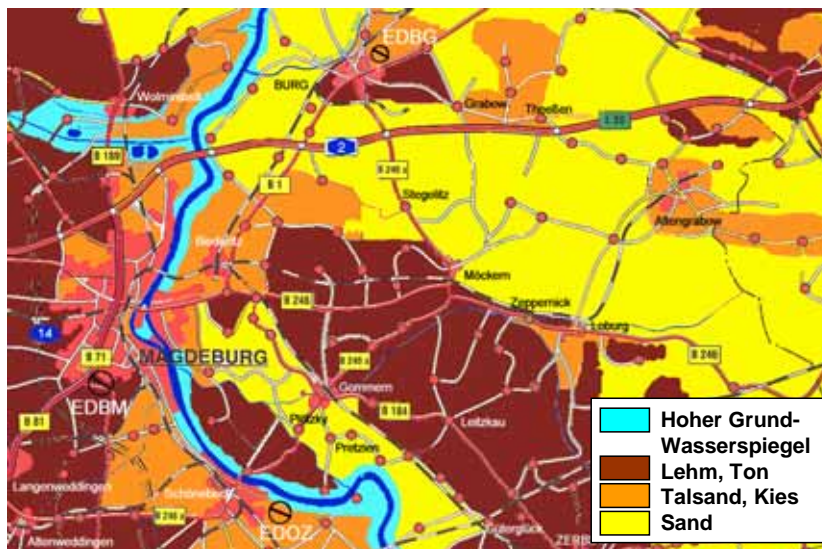


Bild 2: Bodenbeschaffenheit der Region Magdeburg

Bild 2 stellt die Auswertung solcher Daten für Magdeburg und seine Umgebung dar (Bild 2). Die Ergebnisse fallen mit den allgemein gemachten Erfahrungen zusammen: Die ungünstigen Bodenverhältnisse westlich der Stadtmitte und in der Nähe des Flugplatzes werden durch die Steinmassen der Häuser und soweit noch vorhanden, die wärmespendenden Industrieanlagen, kompensiert. Der schwere Bördeboden ist an und für sich thermisch ungünstig, obwohl frisch gepflügte oder geeegte dunkle Felder wegen der starken Absorption des Sonnenlichts und der wärmespeichernden Wirkung des im lockeren Boden dazwischenliegenden Luftpolsters wiederum genau so gute Thermikquellen sein können wie reife Getreidefelder.

- Die westliche Seite von Magdeburg (rotbraun) besteht aus Löß, darunter Grauwacke bzw. Granit. Von Norden nach Süden ist Magdeburg entlang der Elbe von Talsand durchzogen, der außer in den Zeiten eines hohen Wasserstandes thermisch sich durchaus günstig auswirkt.
- Biederitzer Gegend bis Nedlitz-Büden : ungünstig wegen Geschiebemergel, ungünstiger Grundwasserspiegel, Laubbäume (Verdunstungskälte).
- Loburg: nördlich Loburg günstig, südlich ungünstig.
- Altengrabow: sehr günstig (orange), aber begrenzte Nutzbarkeit wegen militärischer Nutzung.
- Lindau: sehr ungünstig.
- Leitzkau: ungünstig, z.T. reiner Ton und Lehm.

- Glinde: Überschwemmungsgebiet, 40cm bis 1,70 m Lehmschicht.
- Plötzky-Pretzin Steinbruchgebiet, südwestlich Gommern Dünen- und Talsand günstig (gelb), nördlich ungünstig (braun).
- Schönebeck: An der Elbe Talsand günstig, ungünstig bei hohem Grundwasserspiegel.
- Heidelandschaften: Günstig wegen Sandboden . Colbitzer und Letzlinger Heide ideal.
- Kieferwälder: Meist Sandboden, geringer Verdunstungsgrad der Bäume gegenüber Laubwäldern.
- Fichtenwälder: Meist lehmiger Untergrund, ungünstig.

2.2. Einfliegen in die Thermik

2.2.1. Aufwinde mit unterschiedlichem Steigen

Bei guter Wetterlage sollte man nur in Notsituationen in Aufwinden kreisen, die unter dem mittleren Steigen des Tages liegen. Keine nutzlosen Kreise fliegen. Das ist immer ein enormer Zeit- und Geschwindigkeitsverlust. Man kann das mit der Situation auf der Autobahn vergleichen. Für die Durchschnittsgeschwindigkeit ist es weniger wichtig, ob man mit 5 km/h schneller fährt, hingegen fällt es sehr ins Gewicht, wenn man zu lange Pausen macht. Manches langsam dahinfahrende Fahrzeug holt man nach einer Verschnaufpause erst nach vielen Kilometern wieder ein. Zur Illustration sollen auch zwei Rechenbeispiele dienen:

- a) Bei einem Wettkampf wird auf einem 100 km Dreieck von fast allen Piloten eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 80 km/h erreicht, d.h., das Dreieck wird mit 1h 15' umflogen. Das mittlere Steigen liegt über 3 m/s. Ein noch unsicherer Pilot kreist bereits bei 1 m/s in ein Aufwindgebiet ein und benötigt 25 Min, um auf 1500 m Höhe zu kommen. Ein guter Pilot kreist jedoch erst bei einem Aufwind von 3m/s ein. Er benötigt für denselben Höhenunterschied nur 8,3 Min.

D.h., der Unterschied zwischen beiden Piloten beträgt 16,7 Min für das Erreichen derselben Höhe. Das macht bei einem 100er Dreieck, das an diesem Tage theoretisch mit $v_R = 80$ km/h geflogen werden könnte, fast 15 km/h aus!

Beweis:
$$v = \frac{100\text{km}}{1\text{h}15'+16,7\text{Min}} = 66\text{ km/h.}$$

Ja, selbst ein Unterschied von nur 1 Min in der Steigzeit macht

$$\Delta v = \frac{100\text{km}}{1\text{h}15\text{Min} + 1\text{Min}} = 0,5\text{ km/h aus.}$$

- b) Ein ähnlicher Geschwindigkeitsverlust wie der zuletzt genannte tritt auch bei einem unentschlossenen Gammelkreis bei 0m/s oder erst recht beim Kreisen im Fallen auf. Solche Gammelkreise werden oft unter Wolken gemacht, die kein Steigen bringen. Diese „Suchkreise“ fliegt man meist mit großem Kreisdurchmesser von ca. 300m Ø (Bild 3). Das würde einer Kreisbahn von etwa 1000 m entsprechen. Bei einer Kreisfluggeschwindigkeit von ca. 80 km/h benötigt man hierfür etwa 45 Sekunden. Auf unser 100er Dreieck angewendet bedeutet das: Jeder Gammelkreis bringt einen Verlust an Reisegeschwindigkeit von ca. 0,5 km/h. Liegt die Durchschnittsgeschwindigkeit > 100km/h, bedeutet ein solcher unnötiger Kreis einen Geschwindigkeitsverlust von 1... 1,5 km/h.

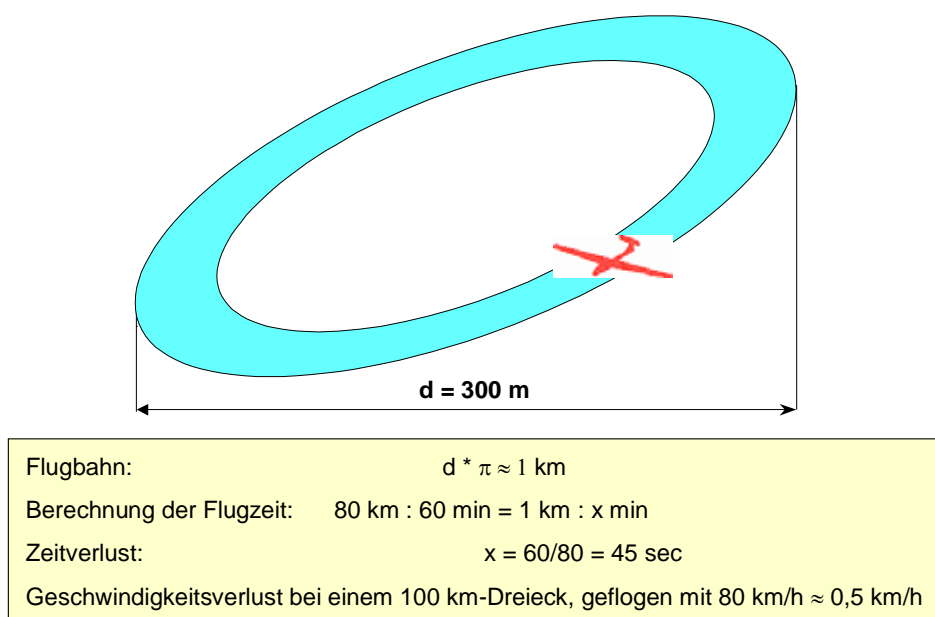


Bild 3: Zeit- und Geschwindigkeitsverlust bei einem unnötig geflogenen Kreis

2.2.2. Wahl der Drehrichtung

Nur selten hat man das Glück, ein Steiggebiet im Zentrum anzuschneiden. Meistens fliegt man in Richtung einer Sekante (Bild 4 [1]). Dabei „rollt“ das Flug-

zeug automatisch vom Zentrum des größten Steigens weg, wenn man nicht dem Anheben der Fläche entgegenwirkt und genau in die entgegengesetzte Richtung einkreist, wie es sein sollte. Wer das nicht beachtet, wird regelrecht aus dem Thermikgebiet herausgedrückt. Dieses Fehlverhalten kann man bei Anfängern beobachten.

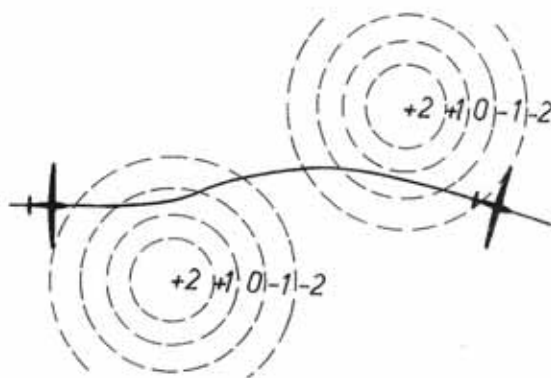


Bild 4: Mögliches Vorbeifliegen an der Thermik durch fehlende Korrektur des Rollmomentes [1]

Bei Seitenwind im Verhältnis zum Kurs sind die Wolken immer an der Leeseite gegen den Wind anzufliegen (Bild 5 [1]), weil man sonst in Gefahr läuft, dem Aufwindschlauch gar nicht zu begegnen.

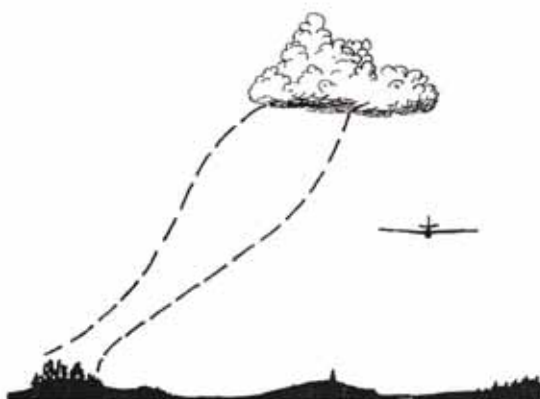


Bild 5: Suchen der Thermik bei Seitenwind [1]

Der Flug mit Rückenwind bringt in geringeren Höhen mehr Geländegewinn pro Zeiteinheit und damit mehr Chancen, Thermik zu finden (Bild 6 [1]).

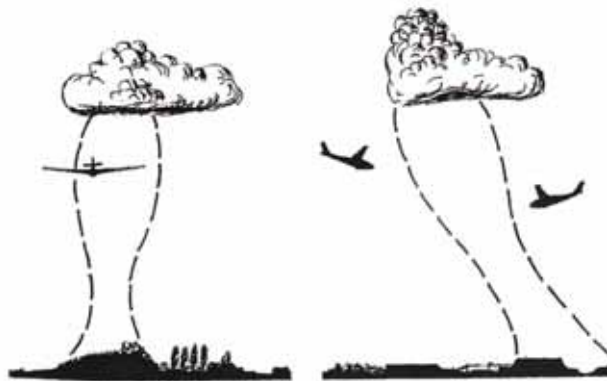


Bild 6: Das Wiederfinden von Thermik bei Gegen- und Rückenwind [1]

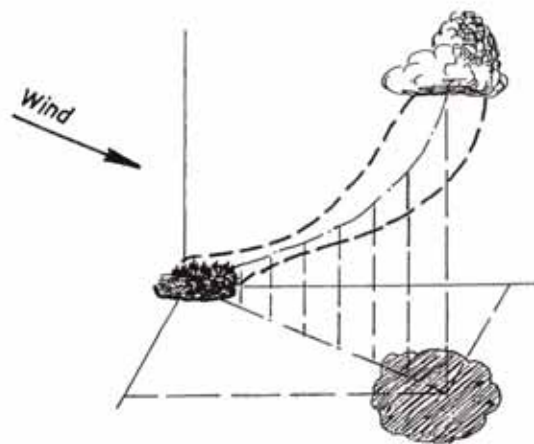


Bild 7: Mögliche räumliche Lage eines Aufwindfeldes unter Windeinfluss [1]

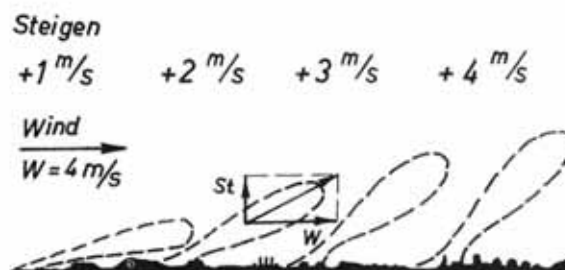


Bild 8: Einfluss der Windstärke auf die Versetzung in der Thermik [1]

Dabei sollte man eine räumliche Vorstellung von der Versetzung des Aufwindgebietes bis hin zur Wolke haben (Bild 7 [1]).

Die Windversetzung des Thermikschlauchs hängt natürlich vom Verhältnis der Aufwindgeschwindigkeit zur Windgeschwindigkeit ab. Je schwächer der Aufwind und um so stärker der Wind, desto größer ist die Versetzung (Bild 8 [1]).

2.2.3. Hochgezogene Fahrtkurve

Hat man nach 3...5 Sekunden das Gebiet maximalen Steigens erreicht, ist eine hochgezogene Fahrtkurve (Bild 9[2]) in Richtung der angehobenen Fläche zu fliegen. Dadurch setzt man die Überfahrt gleich in Höhe um und hat seine Geschwindigkeit soweit reduziert, daß man enge Kreise im Kern des Aufwindes fliegen kann. Ist das Aufwindgebiet bereits durch andere Flugzeuge markiert, muß man sich spiralförmig der Kreisbahn anderer Flugzeuge nähern .

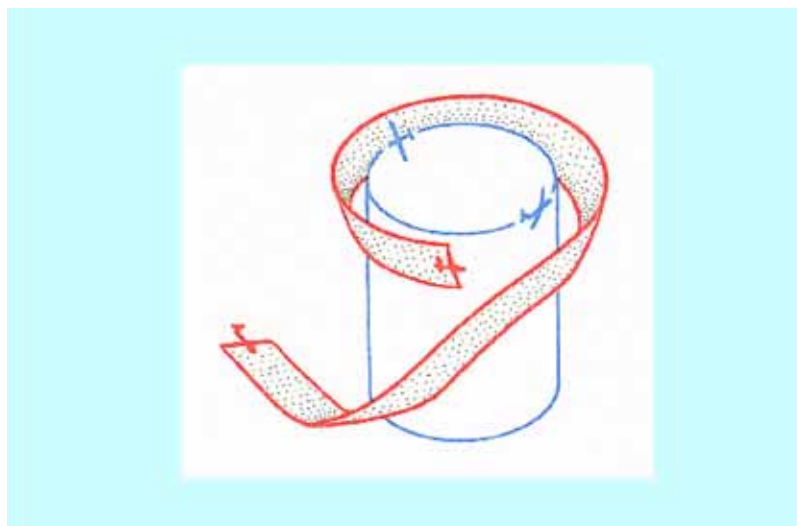


Bild 9: Spiralförmiger Anflug eines thermiksegelnden Pulks von Seglern [2]

2.3. Zentrieren

Ein ideales thermisches Aufwindgebiet müßte theoretisch kreisförmigen Querschnitt haben. In Wirklichkeit ist dies nur selten der Fall. Trotzdem wollen wir zum besseren Verständnis des Zentrierens den Kreis als Modellfall annehmen. Beim seitlichen Einfliegen in ein solches Aufwindgebiet gibt es nach H. Reichmann [2] im Prinzip 3 Möglichkeiten des Zentrierens nach Variometeranzeige (Bild 10):

- 1.) Aufrichten im Steigen
- 2.) Erhöhung der Schräglage im Fallen
- 3.) Kombination aus beiden Maßnahmen .

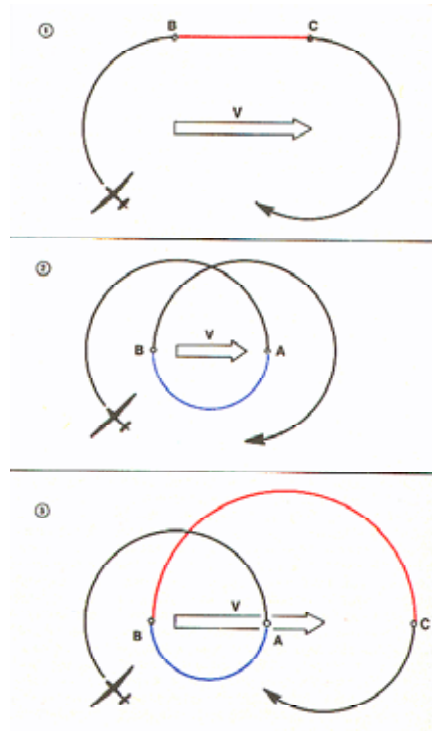


Bild 10: Zentrierverfahren nach [2]

Diese letztere Möglichkeit wird auch von G. Wissmann [1] vorgezogen, wobei er gem. Bild 11[1] empfiehlt, sich als Anhaltspunkte die Stelle des max. Steigens und den Blickpunkt beim Aufrichten zu merken. Diesen drei Fällen muß man nach G. Wissmann [1] noch eine weitere Möglichkeit hinzufügen, das ist 4.) die Möglichkeit des Kreiswechsels (Bild 12 [1]).



Bild 11: Zentrieren nach Maximalanzeige des Variometers nach [1]

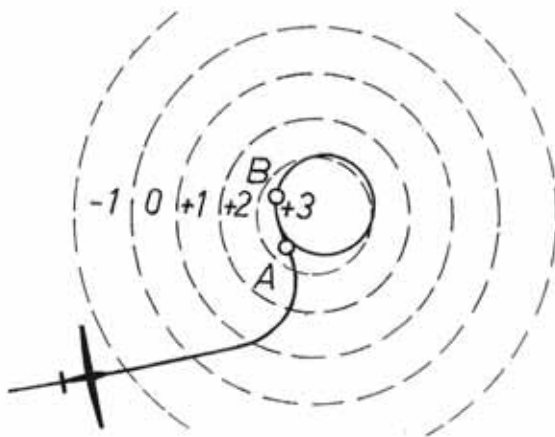


Bild 12: Zentrieren durch Kreiswechsel nach [1]

2.4. Veränderung des Aufwinddurchmessers mit der Höhe

Beim Zentrieren ist der typische Aufbau einer sich gerade ablösenden Blase zu beachten, wie er in Bild 13a[1] und 13b [4] zu sehen ist . Von unten nach oben stellt sich das so dar:

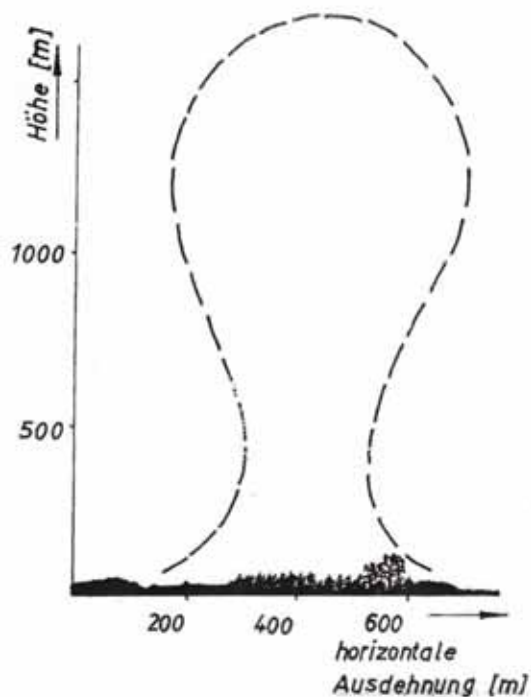


Bild 13a: Flaschenhalscharakter eines Aufwindes nach [1]

- großer Blasendurchmesser der noch am Boden festhängenden Thermik
- „Flaschenhals“ in ca. 300-400 m Höhe, welcher ein steiles Kreisen erfordert,
- weite Thermik in Höhen über 500 - 600 m

- bereits vom Boden abgelöste Blase, von der man evtl. nur noch den unteren Teil mit dem Segelflugzeug erreicht

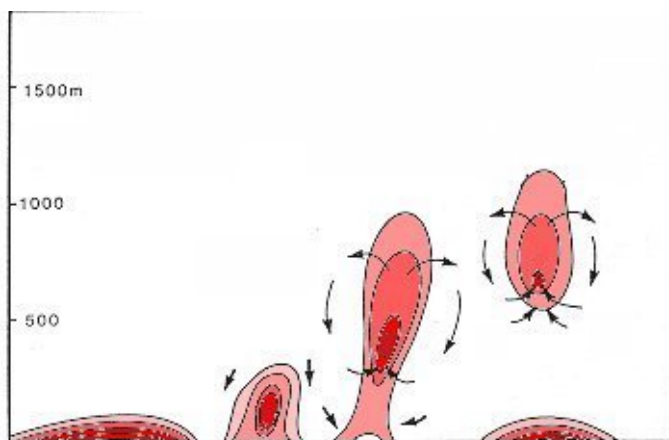


Bild 13b: Aufwindverteilung bei Ablösung einer Thermikblase [4]

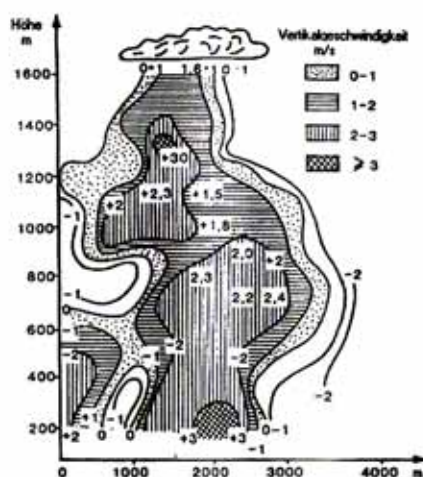


Bild 13c: Querschnitt durch Aufwindverteilung eines Aufwindgebietes [4]

Es kommt nach neueren Erkenntnissen hinzu, daß im Prinzip eine Thermikblase nicht homogen aufgebaut ist, sondern daß sie gem. Bild 13c-d [4] aus vielen kleineren Blasen bestehen kann (englisch: bubbles in the bubble). Oft sind nur Gleitschirme, Raubvögel und Drachenflieger in der Lage, die vorwiegend im Kern des Aufwindes vorhandenen Aufwindmaxima wirklich auszunutzen. Infolge dieser eigenartigen Substruktur sollte man sich nicht entmutigen lassen, wenn mal während des Kreisens kurzzeitig das Steigen wegbleibt. Geduld! Meistens kommt es beim nächsten Kreis wieder.

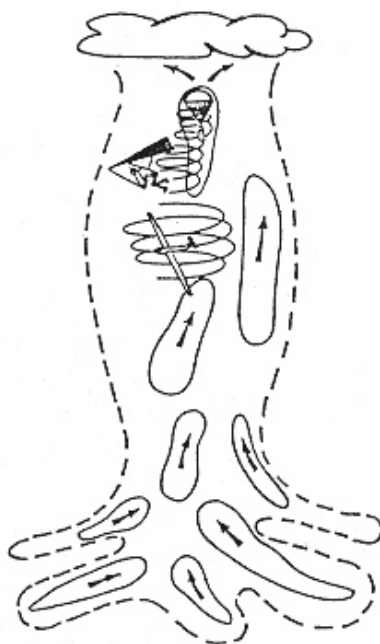


Bild 13d: Computersimulation von Blasen in einer Blase [4]

2.5. Korrektur des Windeinflusses

Aus Aufwindgebieten, die vom Wind versetzt sind, fällt man auf Grund des Eigensinkens allmählich aus dem Aufwind heraus, wie die Zusammensetzung der Geschwindigkeitsvektoren aus W , St und St' (St minus v_s) in Bild 14 zeigt. Dem kann man entgegenwirken, indem man nach mehreren Kreisen immer wieder etwas gegen den Wind aufrichtet.

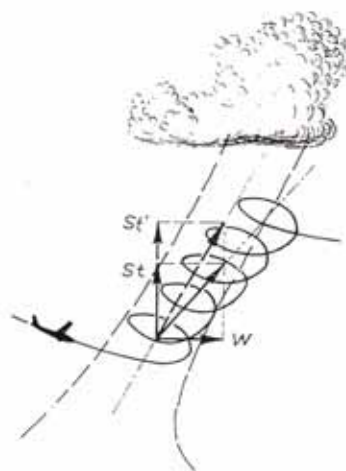


Bild 14: Herausfallen aus dem windversetzten Aufwind [1]

2.6. Lokalisieren

Meßflüge (z.B. von dem Russen D. A. Konovalov [5]) haben gezeigt, daß der kreisförmige Querschnitt eines Aufwindgebietes mit **einem** Aufwindzentrum der eher seltenere Fall ist (Bild 15 rechts). Meistens sind in einem größeren Aufwindgebiet mehrere Gebiete mit relativen Aufwindmaxima anzutreffen.

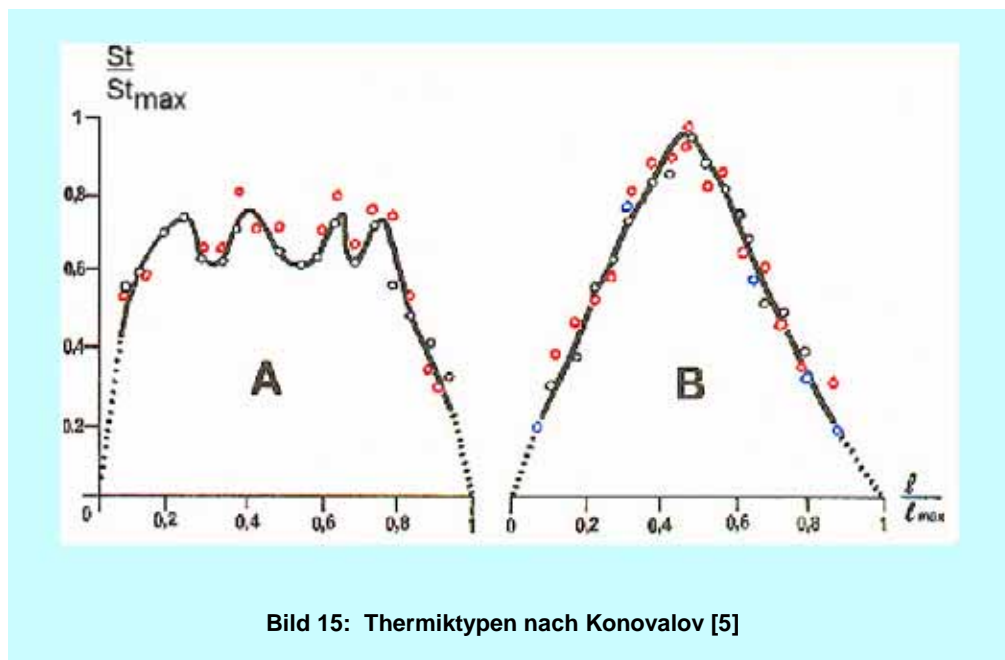


Bild 15: Thermiktypen nach Konovalov [5]

Daher ist es angebracht, in größeren Höhen ein Aufwindgebiet daraufhin zu testen, ob es nicht noch andere Stellen gibt, an denen man noch besser steigt (Bild 16). Das ist insbesondere dann angebracht, wenn man sieht, daß andere Segelflugzeuge an einer anderen Stelle in ein und demselben Aufwindgebiet schneller steigen.

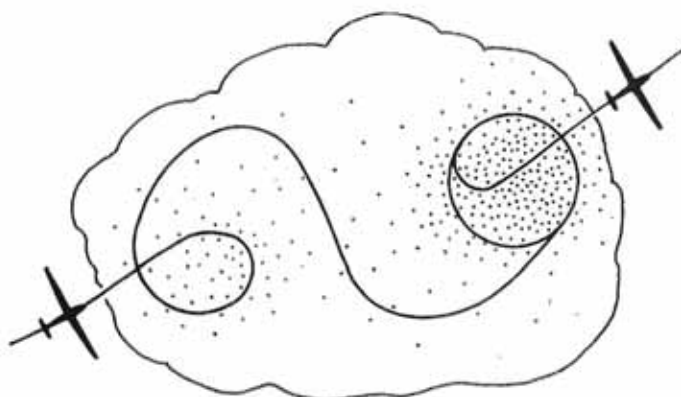


Bild 16: Lokalisieren eines größeren Steiggebietes nach [1]

2.7 Geschwindigkeit und Schräglage beim Kreisen in ruhender Luft

Bisher wurde noch gar nicht die Frage erörtert, mit welcher Schräglage und welcher Geschwindigkeit man eigentlich in der Thermik kreisen sollte. Sollte man die Regeln des normalen Kreisflugs anwenden, wie sie im Rahmen des PPL-C-Programms gelehrt werden, d.h., 35° Schräglage mit Normalfluggeschwindigkeit und 45° Schräglage mit 10 Fahrtzunahme? Bild 17 enthält die Sinkgeschwindigkeitspolare der ASW 15 bei einer Flächenbelastung von 28 kp/mm². Sollte man im Thermikflug, ausgehend von dieser Sinkgeschwindigkeitspolaren, mit $v_{\epsilon \text{ best}}$, d.h., der Geschwindigkeit des besten Gleitens im Geradeausflug fliegen? Vielleicht aber ist eher die Geschwindigkeit des geringsten Sinkens im Geradeausflug $v_{ws \text{ min}}$ die günstigere Geschwindigkeit im Kreisflug?

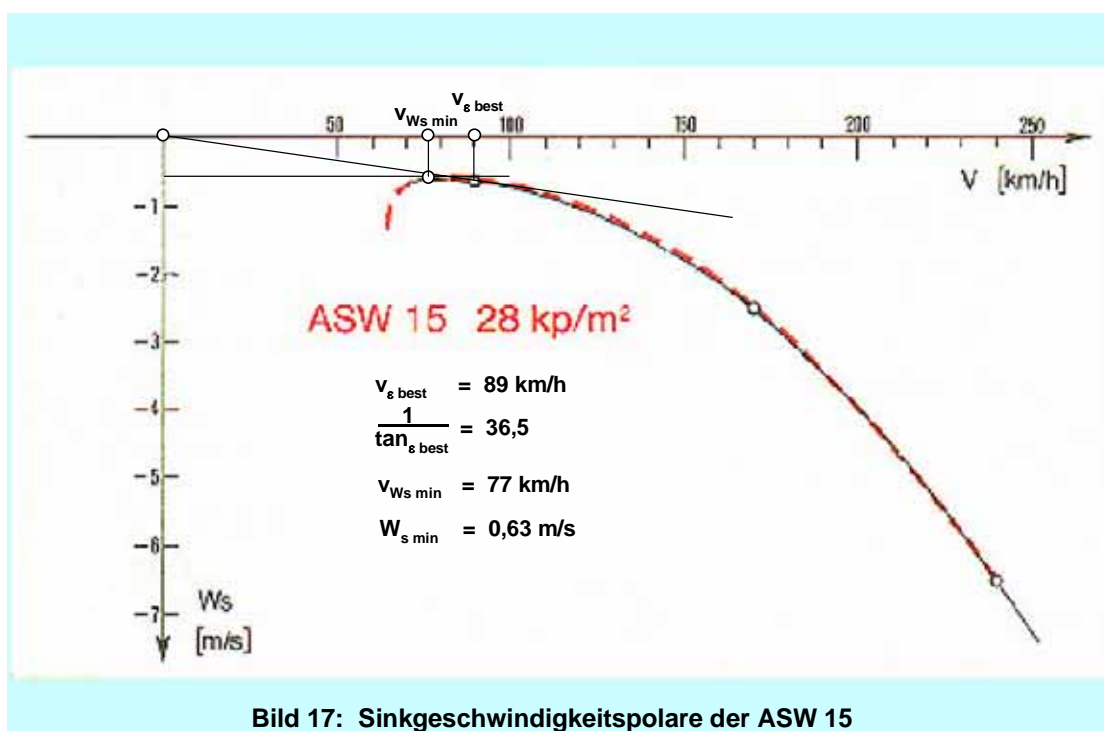


Bild 17: Sinkgeschwindigkeitspolare der ASW 15

Alle drei Annahmen sind nicht richtig. Warum?

- Thermisches Kreisen unterliegt anderen Randbedingungen als ein Flug im Rahmen des C-Programms. Beim Thermikkreisen will man möglichst enge Kreise, aber bei geringstem Sinken fliegen.
- Beim Kreisflug gilt nicht die Sinkgeschwindigkeitspolare des Geradeausflugs, sondern es gelten die sogenannten Kreisflugpolaren, welche aus den Querneigungspolaren ermittelt werden. Für jede Querneigung gibt es eine Polare, welche den Zusammenhang zwischen Kreisradius und Eigensinken beschreibt. Die Kreisflugpolare ist die Einhüllende aller Querneigungspolaren und ergibt den Zusammenhang zwischen Querneigung, Flug- und Sinkgeschwindigkeit

- c) Es müssen solche Kreise geflogen werden, die der Aufwindverteilung in der Thermikblase optimal angepaßt sind. Sonst passiert es, daß um das Aufwindzentrum herumgeflogen wird, ohne es richtig zu nutzen.
- d) Vor allen Dingen in geringen Höhen muß man darauf achten, die Geschwindigkeit nicht bis zum Abreißen der Strömung zu reduzieren.

Es ist tatsächlich so, daß beim Kreisflug nicht mehr die normale Sinkgeschwindigkeitspolare angewendet werden kann, weil im Kreisflug die Auftriebskräfte nicht mehr nur der Schwerkraft, sondern der Resultierenden aus Schwerkraft und Fliehkraft (Kurvengewicht) das Gleichgewicht halten müssen (Bild 18 [2]). Um dieses Gleichgewicht zu halten, müssen Geschwindigkeit und Anstellwinkel gegenüber dem Geradeausflug geändert werden.

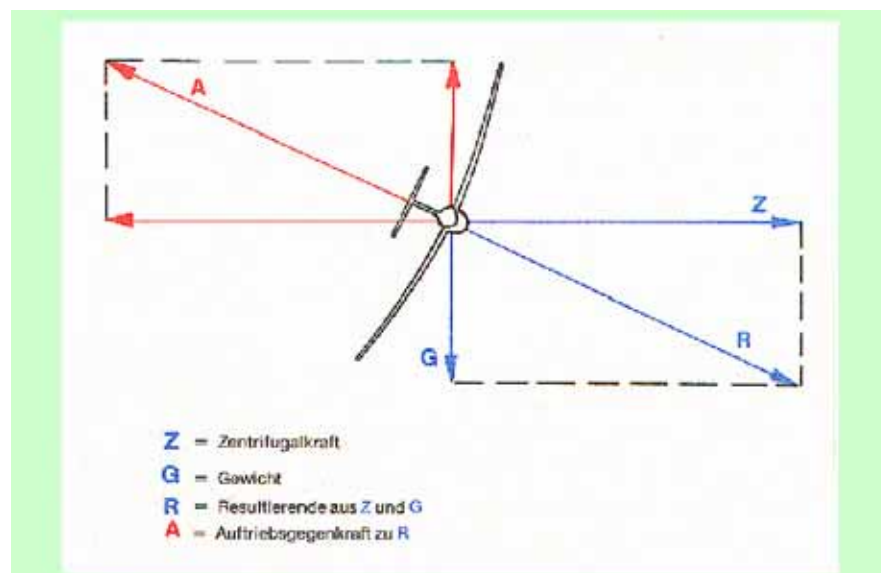
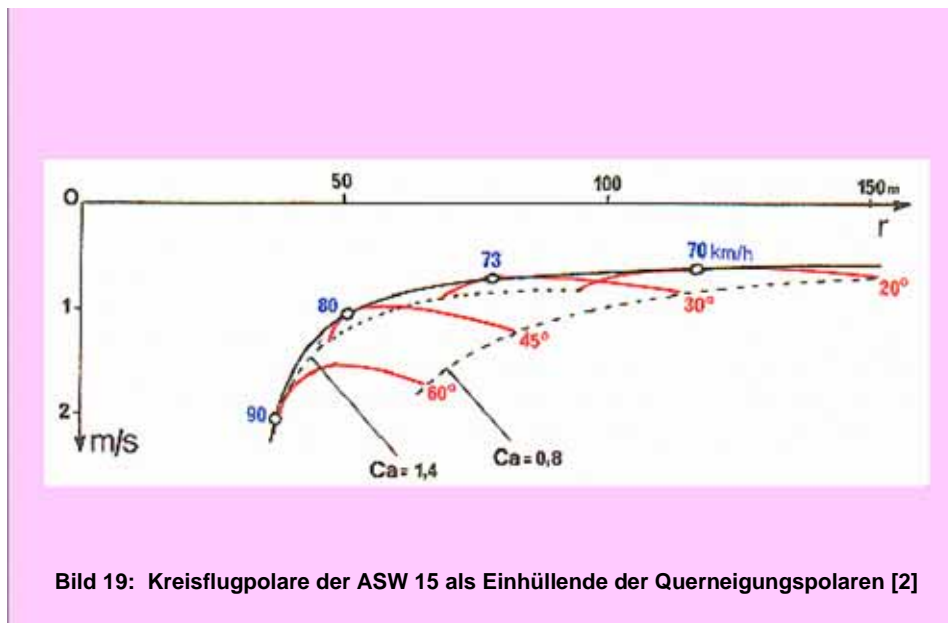


Bild 18: Kräfte im Kurvenflug [2]

Kreisflugpolaren könnte man theoretisch für jede Querneigung erfliegen, indem man Kreise mit unterschiedlichen Radien fliegt und sowohl die Fluggeschwindigkeiten als auch die Sinkgeschwindigkeiten mißt. Die Kreisflugpolare ergäbe sich dann als Einhüllende der Querneigungspolaren. Bild 19 [2] enthält einige Querneigungspolaren und die Kreisflugpolare für die ASW 15. Sie wurde aber nicht gemessen, sondern errechnet. Wie will man auch die Kreisradien messen? Effektiver ist es, diese Polaren aus den Flugzeugpolaren $c_a = f(c_w)$ zu berechnen. Diese Polaren liegen allerdings für



das Flugzeug als Ganzes nur in Form der im Geradeausflug erfliegenen Sinkgeschwindigkeitspolaren $w_s = f(v)$ vor.

Für Interessenten mit entsprechenden mathematischen Kenntnissen sind nachfolgend die formelmäßigen Zusammenhänge dargestellt. Die Ansätze dazu wurden 1954 in der Zeitschrift Flugwissenschaft von dem bekannten und heute noch tätigen Aerodynamiker, Prof. R. Eppler [6] gezeigt. Vom Autoren des vorliegenden Beitrages wurden diese Rechnungen in den 60iger Jahren [7] nachvollzogen und u.a. für das zu DDR-Zeiten bekannte Segelflugzeug Libelle Standard aus Lommatzsch sowie später auch für die Segelflugzeuge Bocian und ASW 15 durchgerechnet. Eine Übertragung auf andere Segelflugzeuge ist ohne weiteres möglich. Wer an solchen theoretischen Berechnungen kein Interesse hat oder wem die notwendigen mathematischen Voraussetzungen dafür fehlen, kann getrost diese Herleitungen überspringen und auf S. 14 fortsetzen. Wichtig sind allerdings die Schlußfolgerungen für den Kreisflug in der Thermik.

1. Schritt: Errechnung der c_a - c_w -Polare aus der Sinkgeschwindigkeitspolare, indem die Auftriebskraft näherungsweise gleich dem Gewicht gesetzt wird

$$A = c_a \cdot F \cdot \frac{\rho}{2} v^2 \quad (1)$$

$$A = G \quad (2)$$

Hieraus ergibt sich

$$c_a = \frac{G \cdot 2}{F \cdot \rho \cdot v^2} \quad (3)$$

$$c_w = \frac{c_a}{1/\varepsilon} \quad (4)$$

Grundlage der weiteren Berechnung sind die Beziehungen für die Sinkgeschwindigkeit w_s , die Geschwindigkeit v und die Fliehkraft Z im Kreisflug und zwar

$$v = \sqrt{\frac{2G}{\rho \cdot F}} \cdot \frac{1}{\sqrt{c_a \cdot \cos \varphi}} \quad (5)$$

$$w_s = \sqrt{\frac{2G}{\rho \cdot F}} \cdot \sqrt{\frac{c_w^2}{c_a^3 \cos^3 \varphi}} \quad (6)$$

$$Z = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot r} = G \cdot \tan \varphi \quad (7)$$

Mit Hilfe dieser Formeln gilt es, das Minimum von w_s zu berechnen. Weil zu jedem Kreisradius r nur eine optimale Geschwindigkeit v existiert, wird aus (6) und (7) die Nebenbedingung

$$r = \frac{2G}{\rho g F} \cdot \frac{1}{c_a \cdot \sin \varphi} \quad (8)$$

gewonnen und hieraus die Funktion

$$\Phi = \frac{2G}{\rho \cdot F} \cdot \frac{c_w^2}{c_a^3 \cos^3 \varphi} + \lambda \left(c_a \sin \varphi - \frac{2G}{\rho g F} \right) \quad (9)$$

gebildet. Aus den Nullstellen der partiellen Ableitungen der Funktion nach c_a und φ ist λ zu eliminieren, was nach einigen Zwischenschritten schließlich

$$\cos^2 \varphi = \frac{3}{2} \cdot \frac{c_w}{c_a \cdot \frac{dc_w}{dc_a}} \quad (10)$$

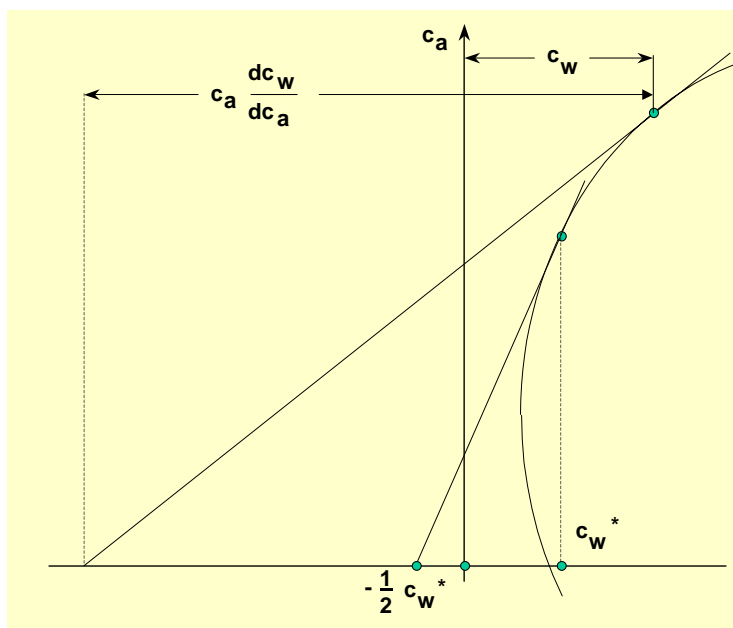


Bild 20: Graphische Lösung der Kreisfluggleichung nach Eppler [6]

ergibt. Dieses Ergebnis lässt sich graphisch auswerten. Indem man in Bild 20 zu verschiedenen c_a -Werten die Tangenten an die Polare zieht und die anderen Bestimmungsstücke für $\cos^2\varphi$ aus der Abbildung abliest, erhält man sofort für den jeweiligen Winkel φ dessen zugeordnete Werte für r , v und w_s , die sich aus den Gleichungen (5), (6) und (8) berechnen lassen. Damit ist es dann möglich, die Kreisflugpolaren für verschiedene Kreisradien und Querneigungen zu errechnen, wie es im Beispiel von Bild 21 für die Lommatzcher Libelle Standard getan wurde.

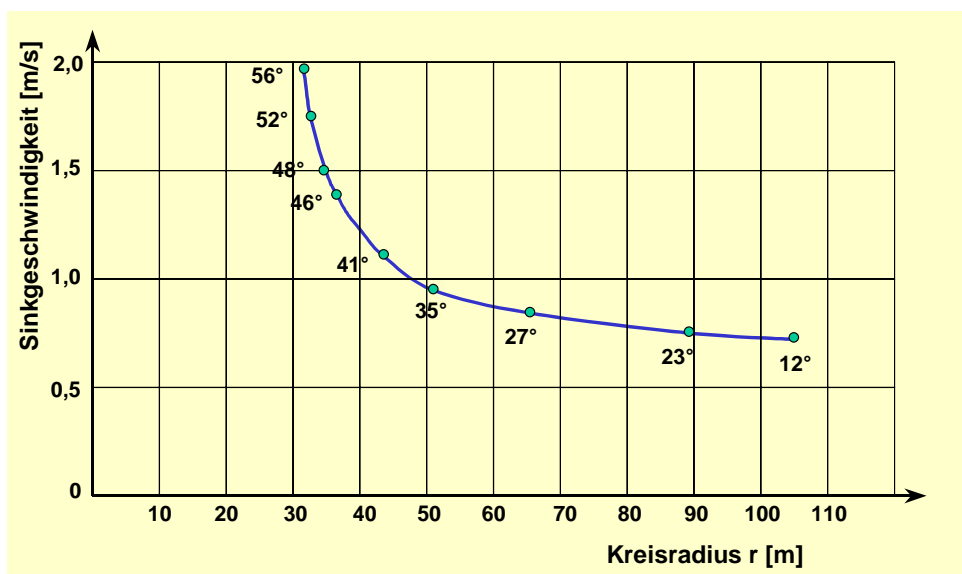


Bild 21: Optimale Schräglage in Abhängigkeit vom Kurvenradius für die Libelle Standard aus Lommatzsch [7]

Da es aber in der Praxis nur schwer realisierbar ist, Kreisradien und Schräglagen zu messen, wurden die Ergebnisse in das eigentlich interessierende Diagramm „optimale Fluggeschwindigkeit = $f(\text{Schräglage})$ “ umgerechnet.

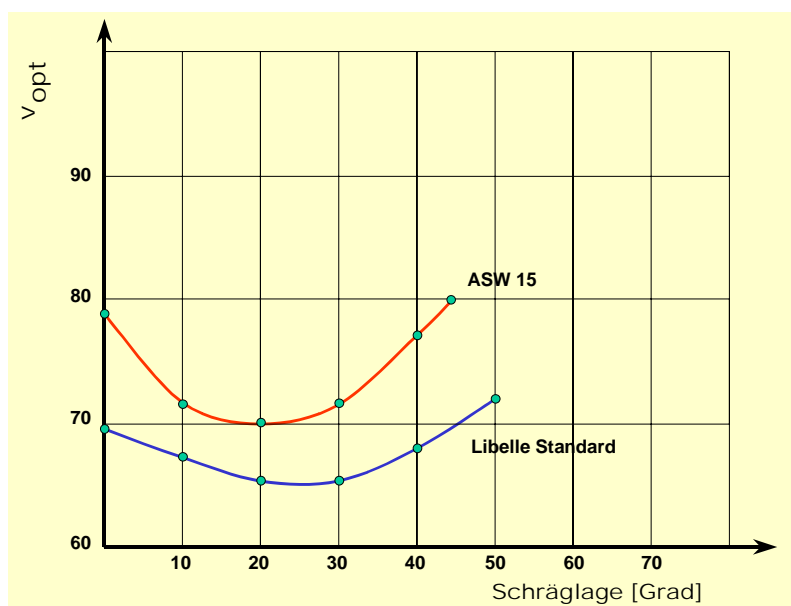


Bild 22: Errechnete Kurven für die optimale Kreisfluggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Schräglage für die Segelflugzeuge ASW 15 und Libelle Standard aus Lommatzsch [7]

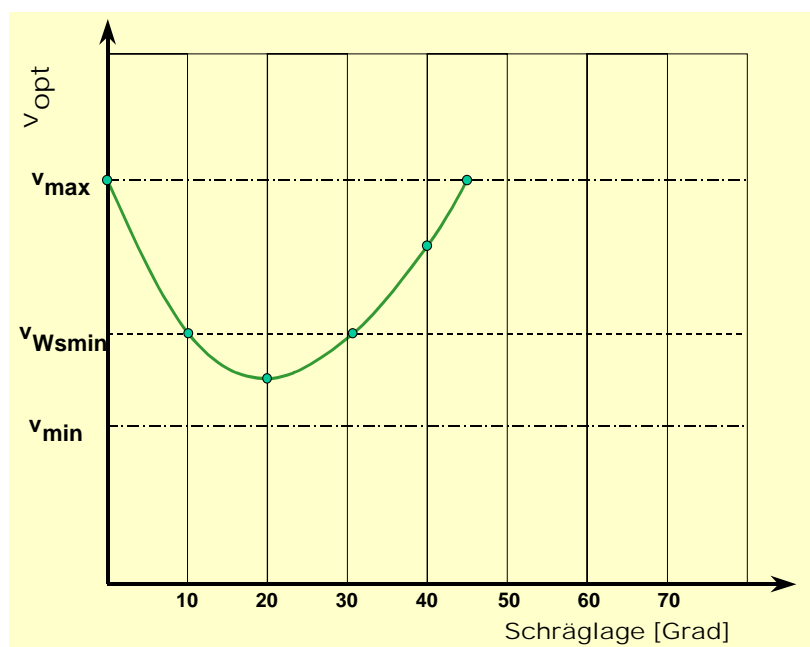


Bild 23: Empfohlene Kreisfluggeschwindigkeit in der Thermik (verallgemeinert)

Dieses Diagramm ist in Bild 22 zu sehen. Die untere Kurve enthält die Werte für die Lommatzscher Standard-Libelle, die obere Kurve zeigt die für die ASW 15 errechneten Werte. Eine Nachprüfung für andere Flugzeugtypen

zeigte, daß diese Kurven verallgemeinerungsfähig sind (Bild 23) und sich hieraus folgende Schlußfolgerungen ziehen lassen:

- a) Die optimale Geschwindigkeit (Geschwindigkeit des geringsten Sinkens bzw. des kleinsten Kreisradius') bei einem ordentlichen Kreisflug liegt bei den Schräglagen bis 35° bei oder sogar noch unter der Geschwindigkeit des geringsten Sinkens im Geradeausflug. Bei steilen Kreisen über 45° Schräglage liegen sie bei einer Geschwindigkeit, die etwa der des besten Gleitens im Geradeausflug entspräche. Das sind Fluggeschwindigkeiten, die im Kreisflug eigentlich schon nahe der kritischen Geschwindigkeit liegen, wie es die oberste Kurve in Bild 19 für die ASW 15 verdeutlicht.
- b) Fahrtzunahmen sind erst über 45° Schräglage erforderlich.

Was hier auf so komplizierte Weise errechnet wurde, machen eigentlich gute Streckenflieger schon immer instinktiv. Dennoch ist es interessant, es mathematisch bestätigt zu wissen. In diesem Zusammenhang sei an die Aussage eines in den 50er Jahren bekannten russischen Weltrekordlers Iltschenko [8] erinnert. Er schrieb in einem Buch über Segelflug, man solle beim Kreisen in der Thermik mit einer Geschwindigkeit „nahe der kritischen Geschwindigkeit“ fliegen.

Prof. Eppler [6] schreibt: „Man erreicht mit den errechneten Geschwindigkeiten beachtlich enge Kreise mit guten Sinkgeschwindigkeiten...Da sie wegen der großen notwendigen c_a -Werte nicht leicht zu fliegen sind, müssen sie gut eingeübt werden...Sicher fliegen die guten Segelflieger instinktiv nach dieser Vorschrift. Zwar wird ihnen damit nicht das Suchen nach der stärksten Stelle des Aufwindes und nach der günstigsten Schräglage erspart, aber offensichtlich haben sie dadurch schon große Vorteile, die ihre oft verblüffende Überlegenheit über normale Flieger wenigstens zum Teil erklären.“

2.8. Geschwindigkeit und Schräglage bei engem und weitem Steigen

Eigentlich hat ja bei diesen Betrachtungen die Thermik noch gar keine Rolle gespielt, sondern wir wissen nun lediglich erst, welche Kreisfluggeschwindigkeiten uns bei welcher Schräglage das geringste Fallen bringen. Interessant wird es erst, wenn man diese rein aerodynamische Erkenntnis mit den meteorologischen Erfahrungen über die Aufwindverteilung in einem Aufwindgebiet in Zusammenhang bringt.

Es gibt über das Wesen eines Aufwindgebietes viele Untersuchungen, z.B. von B.H.Carmichael [9] bereits aus dem Jahre 1954 oder etwas später von A. Raspet und D.Gyorgyfalvy [10] und schließlich von D.Konovalov [5].

Wenn man die statistischen Untersuchungen dieser Segelflieger etwas vereinfacht, so kann man sagen, sie haben bei Meßflügen das herausgefunden, was die Erfahrungen der meisten Segelflieger bestätigen: es gibt schwaches und es gibt starkes Steigen, es gibt enge und es gibt weite Aufwindfelder und Kombinationen dieser 4 Fälle. Die nachfolgenden Erörterungen sollen der Einfachheit halber auf die beiden Fälle (Bild24) enge und weite Thermik beschränkt werden. Im ersten Fall fällt das Steigen von 4,5 m/s im Kern auf nur 2,5 m/s bei 120 m Radius ab, d.h., um 2m/s. Im Falle der engen Thermik liegt im Kern ein Steigen von 6m/s vor und im Abstand von 120 m Radius gibt es so gut wie kein Steigen mehr.

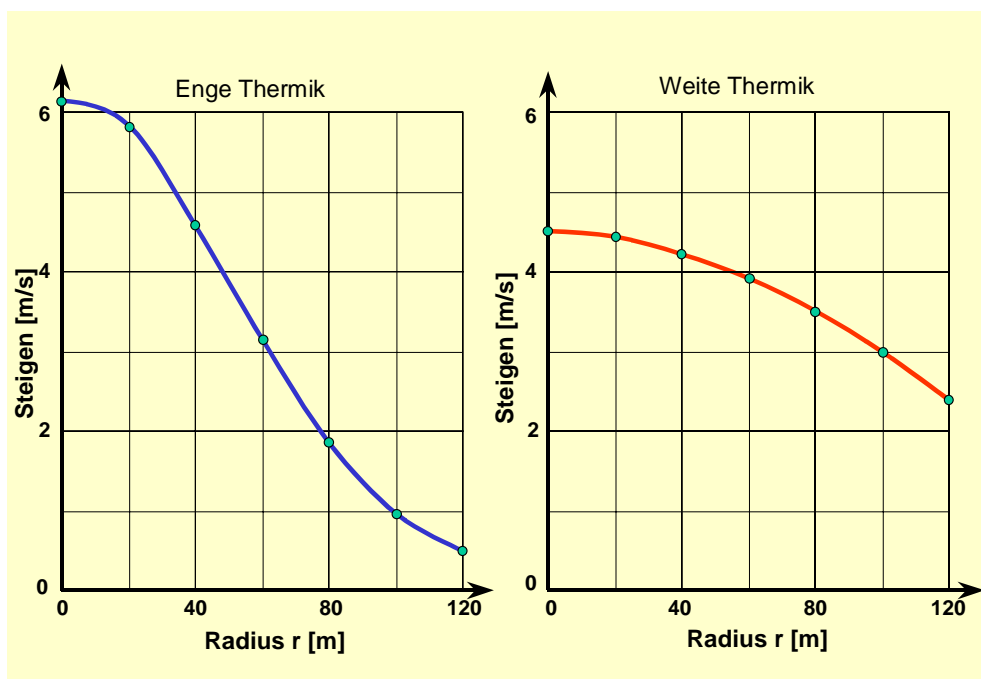


Bild 24: „Enge“ und „weite“ Thermik

Überlagern wir beide Fälle mit der Kurve der optimalen Kreisfluggeschwindigkeiten, so ergibt sich eine Kurve für das effektive Steigen in Abhängigkeit vom Kreisradius (Bild 25-26). Maximales Steigen hätten wir also, flögen wir bei weiter Thermik (Bild 26) mit einem Kreisradius von ca. 50 m und bei enger Thermik (Bild 25) mit einem Kreisradius von ca. 35 m. Das entspräche gem. Bild 21 Schräglagen von ca. 35° im schwachen Steigen bzw. 48° im starken, engen Steigen, wobei hier schon eine gewisse Fahrtzunahme erforderlich wäre.

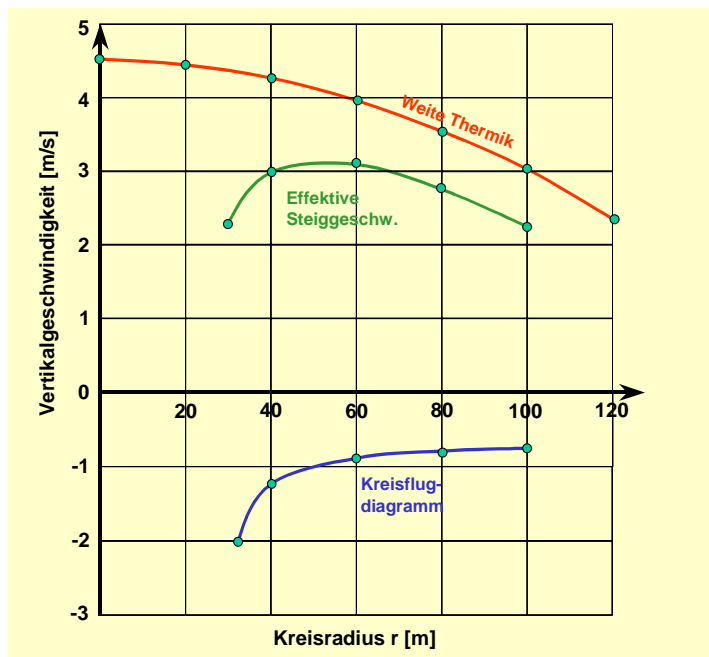


Bild 25: Effektive Steiggeschwindigkeit bei weiter Thermik

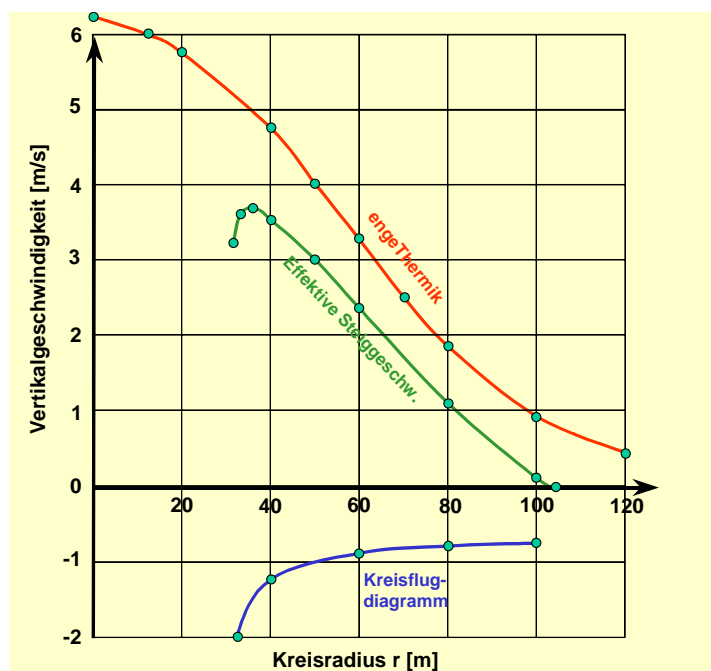


Bild 26: Effektive Steiggeschwindigkeit bei enger Thermik

Bezogen auf die dafür erforderlichen Schräglagen (Bild 21) hieße das, wir sollten bei weiter Thermik mit einer Schräglage von 35° und etwas unter v_{emin} fliegen. Beim engen Steigen müßten wir mit 45° Schräglage und etwas über der Normalfluggeschwindigkeit (v_{ebest}) fliegen.

Das läßt sich gem. Bild 21 für alle Flugzeugtypen und alle Flächenbelastungen verallgemeinern, wenn man weiß, wo diese Geschwindigkeiten im Geradeaus-

flug liegen. Die o.g. Schlußfolgerungen lassen sich auch auf das Fliegen mit Wölbklappen und Wasserballast übertragen, vorausgesetzt, daß man die dazugehörigen Sinkgeschwindigkeitspolaren kennt.

2.9 Ausfliegen aus der Thermik

2.9.1. Ausflughöhe

Viele Anfänger machen beim ersten Streckenflug den Fehler, daß sie Aufwindgebiete bis auf maximale Höhe auskurbeln. Das ist aber in vielen Fällen nicht optimal:

- a) Weil die Aufwindverteilung über die Höhe z.B. so wie in (Bild 27) sein kann, indem sie in größeren Höhen abnimmt. Das ist z.B. bei Blauthermik oder Schönwetterbewölkung (Cu hu) der Fall.

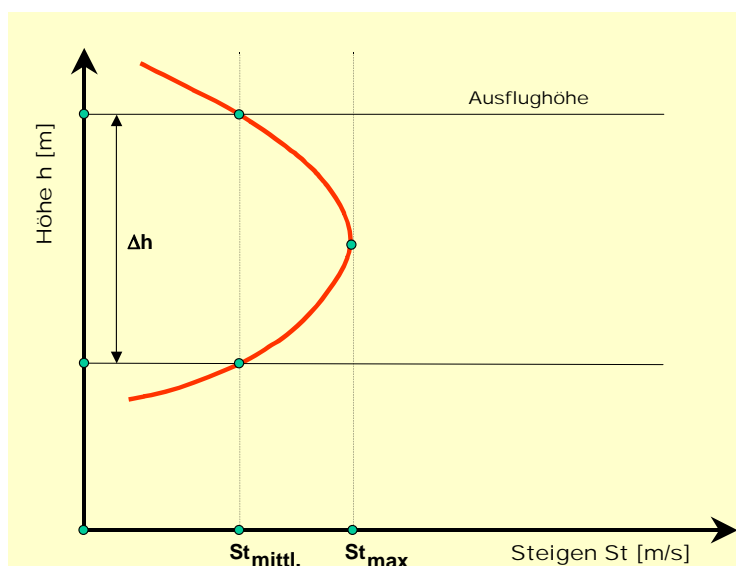


Bild 27: Steigen in Abhängigkeit von der Höhe bei Trockenthermik

- b) Bei Haufenwolken (Bild 28) kann zwar in Wolkennähe eine erneute Labilisierung und verstärktes Steigen auftreten, aber auch hier ist es ungünstig, bis an die Basis zu fliegen, weil man dann keine Geradeaussicht nach schräg oben hat, um die nächstbeste Wolke auszusuchen. Ist man unmittelbar unter der Wolke, sieht nämlich bis zum Horizont alles gleichmäßig schwarz aus. Auf Grund der Luftzirkulation in einer Aufwind bringenden Wolke haben dieselben meist eine Glockenform. Die im Abwind befindlichen Ränder hängen 50 – 100 m tiefer als der Aufwindkern der Wolkenmitte. Dadurch wird die Sichtnavigation und die Luftraumbeobachtung zunehmend schwieriger. Man verliert bei Verlassen der Wolkenbasis unnötig Zeit, um den Kurs wieder aufzunehmen.

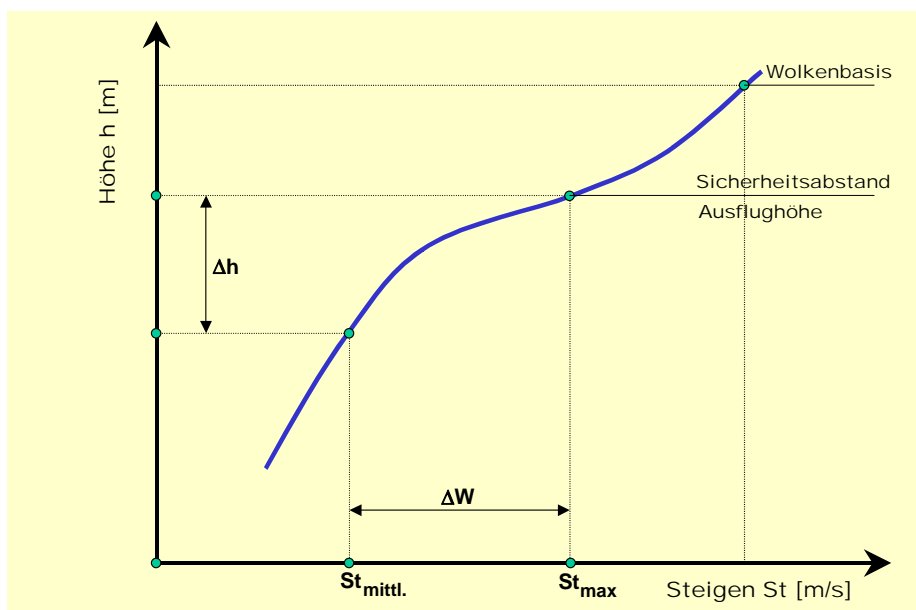


Bild 28: Steigen in Abhängigkeit von der Höhe bei Wolken thermik

2.7.2. Ausflugweg und Ausfluggeschwindigkeit

auf der Jagd nach hoher Reisegeschwindigkeit muß man sich darüber Gedanken machen, auf welchem Wege und mit welcher Geschwindigkeit man ein Aufwindgebiet verlassen sollte. Falsch wäre es, den letzten Kreis bis zum absoluten Thermikende auszufliegen und mit Kreisfluggeschwindigkeit das Aufwindgebiet zu verlassen und solange so weiter zu fliegen, bis das Fallen beginnt. Wenn man dann erst nachdrückte, sackte das Segelflugzeug voll in das Fallen hinein, denn es dauerte erste eine Weile, bis auf Grund der Ruderträgheit die Strömung wieder richtig anläge und der schnellere Flug begänne. Übrigens ist es erfahrungsgemäß so, daß beim Ziehen des Höhenruders beim Eintritt in ein Steiggebiet das Flugzeug schneller reagiert als beim Nachrücken im Fallen. Wenn man also bei Verlassen des Steigens zulange mit dem Nachdrücken wartet, gerät man auf Grund der Trägheit der sich ändernden Ruderumströmung in Gefahr, das Fallen recht lange mitnehmen zu müssen.

Besser wäre es, im letzten Kreis allmählich Fahrt bis auf die Mc-Cready-Geschwindigkeit aufzunehmen (Bild 29 [1]), um bereits mit anliegender Sollfahrt ins Fallen einzutauchen.

Das könnte man nach einem Vorschlag von A. Witek (Bild 30[2]) noch mit einer hochgezogenen 180°-Fahrtkurve durch die Kreismitte verbinden.

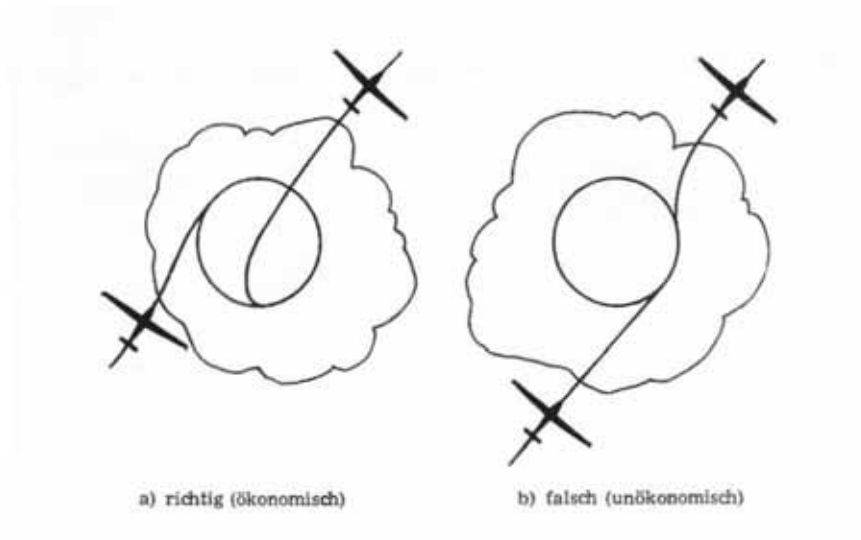


Bild 29: Vorteilhaftes und unvorteilhaftes Verlassen der Thermik [1]

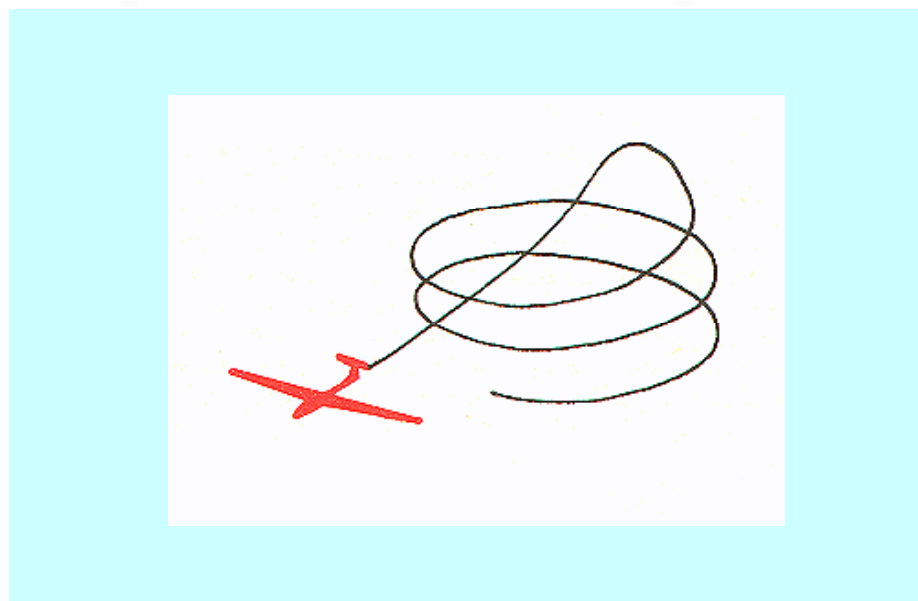


Bild 30: Hochgezogene Fahrtkurve zum Verlassen der Thermik nach A. Witek (entnommen aus [2])

3. Optimaler Geradeausflug zwischen den Aufwindgebieten

3.1. Allgemeine Regeln

Nach dem Verlassen des Aufwindgebietes beginnt der eigentliche Streckenflug. Hierfür sollen zunächst einige allgemeine Regeln gegeben werden:

- Es ist ein **Geradeausflug**, d.h., Kugel bzw. Faden in der Mitte halten, sonst wird es leicht ein Slip und durch schräges Anblasen wird der Gleitwinkel stark verschlechtert.

- Es ist ein **Geradeausflug**, d.h., man sollte sich bemühen, den Kurs einzuhalten: durch Vergleich mit der Karte den nächsten Blickpunkt ausmachen und anfliegen. Wenn GPS vorhanden, bearing und tracking in Übereinstimmung bringen. Vom Kurs nur dann abzuweichen, wenn im negativen Sinne, das Geländere relief, Seen, Sümpfe u.a. oder , in positivem Sinne, Wolken bzw. gute Steiggebiete nicht allzu weit vom Kurs entfernt vorliegen (Bild 31[1]). In jedem Falle ist abzuschätzen, ob sich die damit verbundenen Umwege (Bild 32[1]) lohnen.

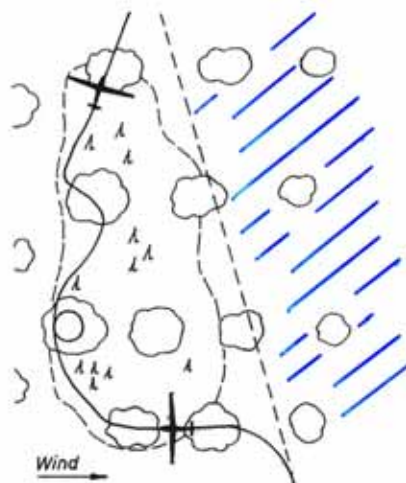


Bild 31: Wahl des Flugweges bei Wolken thermik und reinem Seitenwind [1]

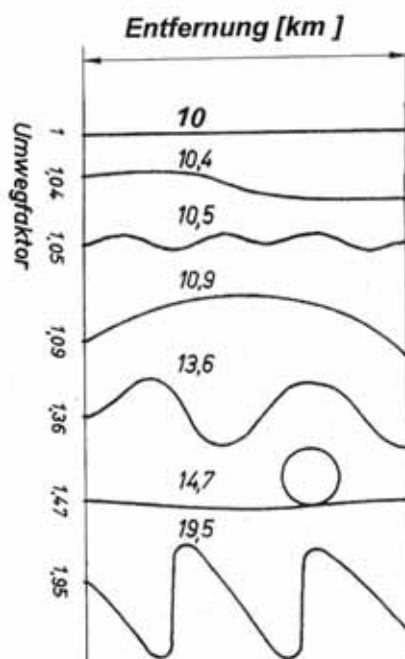


Bild 32: Umwegfaktor bei verschiedenen Flugwegen [1]

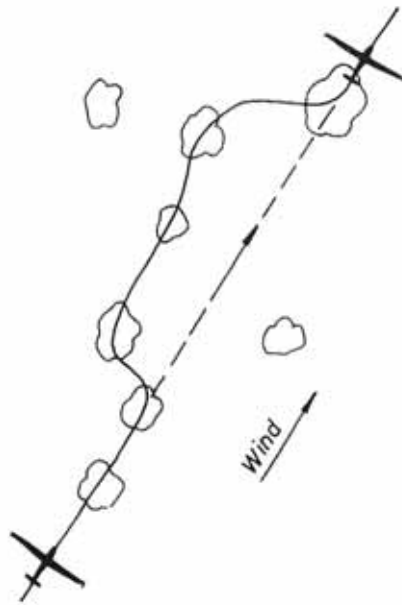


Bild 33: Optimale Wahl des Flugweges in Abhängigkeit von Boden, Wind und Wolken [1]

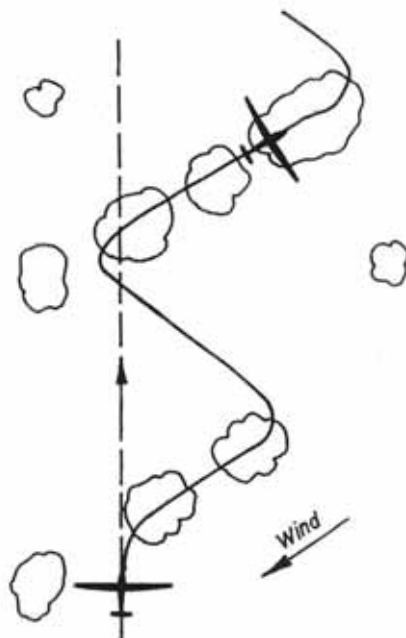


Bild 34: Ausnutzung von Wolkenstraßen bei Seitenwind [1]

- Bei Seitenwind vorhalten und Kurs auf Luvseite der Strecke legen (Bild 33-34[1]) und Wolken nicht mit Seitenwind anfliegen, wenn man tief unter der Wolke ist (Bild 35[1]), sondern immer gegen den Wind die Thermik suchen.

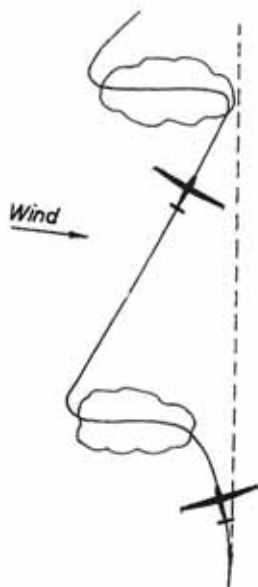


Bild 35: Unterfliegen von Wolken bei Seitenwind

- Die Flüge so legen, daß auch bereits durch reines Ziehen im Geradeausflug oder S- Schlag (unter Wolken) soviel wie möglich Höhe getankt wird bzw. durch Drücken (im Fallen) Höhenverluste vermieden werden.(Bild 36[1]). Diesen Flugstil nennt man Delphinstil.

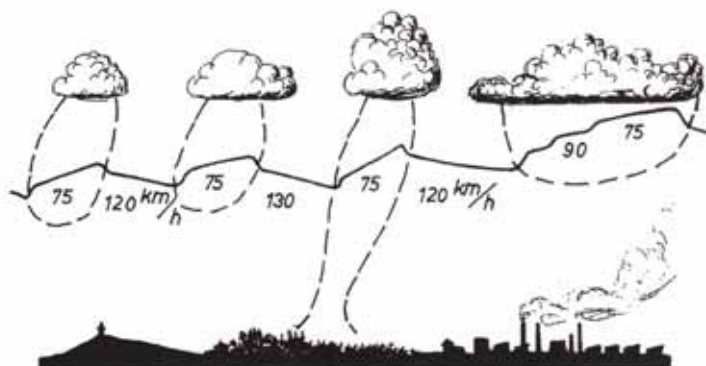


Bild 36: Delphinstil [1]

- Einteilung des Luftraums in Höhenbereiche (Bild 37[1]), deren Lage natürlich vom Wetter, der Flugaufgabe und dem Flugzeugtyp abhängt. In der oberen Flugzone sollten nur Aufwinde über St_{mitt} mitgenommen werden, es kann „experimentiert“ werden. In der mittleren Flugzone kann auch Steigen unter St_{mitt} genutzt werden, aber trotzdem nicht endlos darin kreisen, sondern soviel, wie für das Erreichen des nächsten Steigens $> St_{\text{mitt}}$ erforderlich ist. Die untere Zone befindet sich unter der Sicherheitshöhe, hier müssen auch Nullschieber mitgenommen werden. Hier muß man Geduld zeigen, Kontraste anfliegen und nach Außenlandemöglichkeiten schauen.

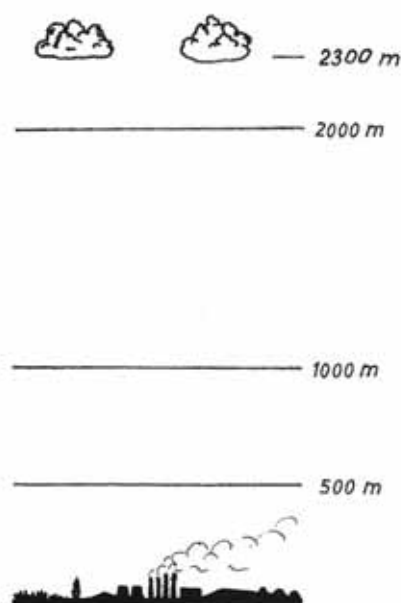


Bild 37: Streckenflugtaktische Einteilung in Höhenbereiche [1]

Obwohl die Zusammenhänge dafür erst im nächsten Kapitel besprochen werden, gelten für die im Geradeausflug zu wählenden Geschwindigkeiten die in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefaßten Regeln.

Zu beachten ist bei dem Fliegen nach Fahrtmesser bzw. Variometer, daß mit zunehmender Höhe infolge der Abnahme der Luftdichte eine gewisse Verfälschung der Instrumentenanzeige auftreten kann. Als Überschlag kann man sich merken, daß in größeren Höhen die angezeigte Geschwindigkeit und das angezeigte Sinken oder Steigen etwas kleiner sind als die tatsächlichen Werte (und zwar die Variometeranzeige um den Faktor ρ/ρ_0 und die Fahrtmesseranzeige um den Faktor $(\rho/\rho_0)^{1/2}$).

Tab.1: Geschwindigkeitswahl im Geradeausflug

Windverhältnisse	Geschwindigkeit	Beispiel
ruhige Luft	$V = v_{\text{ebest}}$	
Gegenwind	entsprechend der Windgeschwindigkeit schneller fliegen	bei 15m/s 20...35% Fahrtzunahme je nach Flugzeugtyp!
Rückenwind	etwas langsamer fliegen	bei 15 m/s 2..8% Fahrtrücknahme
Aufwind	langsamer fliegen	
Abwind	schneller fliegen	

Die in Tab. 1 gegebenen Empfehlungen sagen allerdings nichts darüber aus, welchen Einfluß das mittlere Steigen eines Tages oder das Steigen der nächsten Wolke auf die zu wählende optimale Gleitfluggeschwindigkeit zwischen den Aufwindgebieten (Sprunggeschwindigkeit, Sollfahrt) hat und wie man diese ermitteln kann.

3.2. Optimale Fluggeschwindigkeit/Fliegen mit Sollfahrt

Bei Windstille und fehlenden Auf- und Abwinden kann man bekanntlich die für das Fliegen mit einem Segelflugzeug wichtigsten Geschwindigkeiten aus der Sinkgeschwindigkeitspolare entnehmen (s. beispielsweise für die ASW 15 in Bild 17). Neben der kritischen, geringst möglichen Geschwindigkeit v_{min} enthält sie vor allem die Geschwindigkeit des geringsten Sinkens v_{wsmin} und die Geschwindigkeit des besten Gleitwinkels v_{ebest} .

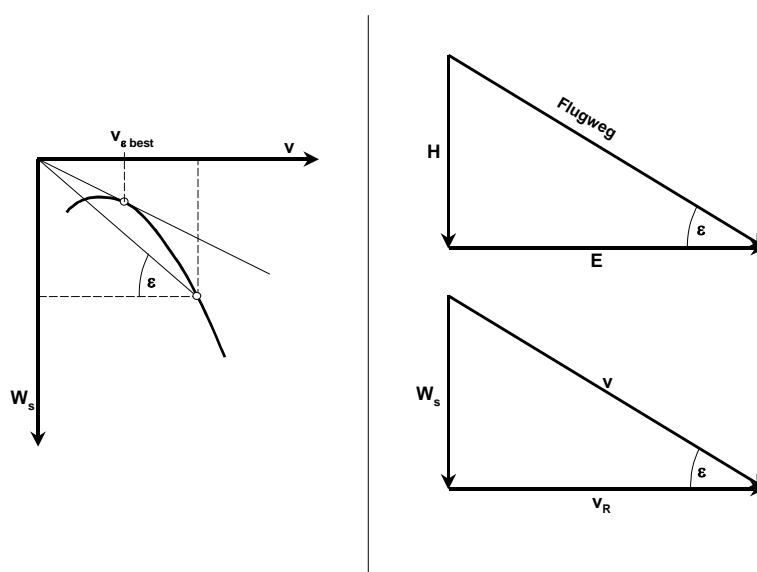


Bild 38: Die Rolle des Gleitwinkels bei der Sinkgeschwindigkeitspolare, im Flugwegdreieck und im Geschwindigkeitsdreieck

Bild 38 zeigt noch einmal oben links, wie der beste Gleitwinkel und die Geschwindigkeit des besten Gleitens ermittelt werden. Die beiden rechts daneben befindlichen Dreiecke dienen dazu, die Zusammenhänge zwischen dem Geschwindigkeitsdreieck, sowie Höhe, Flugweg und Entfernung verständlich zu machen.

Für den Gleitwinkel ε , die Gleitzahl $\tan \varepsilon$ und das Gleitverhältnis $1/\tan \varepsilon$ gelten gem. Bild 38 mit H = Höhe und E = Entfernung die Beziehungen

$$\tan \varepsilon = \frac{H}{E} \quad \text{und}$$

$$\sin \varepsilon = \frac{w_s}{v}.$$

Für kleine Winkel gilt Gleitzahl $\tan \varepsilon \approx \sin \varepsilon$;

$$\text{also auch } \frac{H}{E} \approx \frac{w_s}{v}.$$

Damit ergibt sich für das sogen. Gleitverhältnis

$$\frac{E}{H} \approx \frac{v}{w_s}$$

Tabelle 2 enthält mehrere Beispiele für den Zusammenhang zwischen Gleitwinkel, Gleitzahl und Gleitverhältnis.

Gleitwinkel	Gleitzahl	Gleitverhältnis
5,7°	0,1	10:1
2,9°	0,05	20:1
1,9°	0,033	30:1
1,4°	0,025	40:1

Tab 2: Beispiel für den Zusammenhang zwischen Gleitwinkel, Gleitzahl und Gleitverhältnis

Die beste Gleitzahl $\tan \varepsilon_{\text{best}}$ ist unabhängig von der Flächenbelastung. Eine Veränderung in der Flächenbelastung führt zu einer Streckung bzw. Stauchung der Polaren dergestalt, so daß sich dieselben Gleitverhältnisse bei anderen Geschwindigkeiten einstellen. Bild 39[2] zeigt z.B. eine Polare $P_1 P_2 P_3$ mit einer niedrigen und eine Polare $P_1' P_2' P_3'$ für eine höhere Flächenbelastung. Man erkennt, daß sich zwar die Gleitwinkel mit veränderter Flächenbelastung

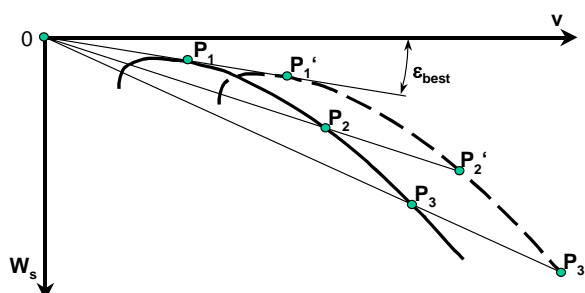


Bild 39: Änderung der Sinkgeschwindigkeitspolare in Abhängigkeit von der Flächenbelastung [2]

nicht verändern aber entsprechend der Belastung zu anderen Geschwindigkeiten verschieben. Will man z.B. erreichen, daß die Geschwindigkeit des besten Gleitens zu höheren Geschwindigkeiten hin verschoben wird, muß die Flächenbelastung durch Wasserballast erhöht werden. Es läßt sich nachweisen, daß es bereits ab 1m/s mittleren Steigens vorteilhaft ist, mit Wasserballast zu fliegen, weil sich bereits hierdurch die Reisegeschwindigkeit um ca. 6% erhöht, bei 2m/s sogar um 11%. Eine andere konstruktive Maßnahme zur Verbesserung des Gleitwinkels ist die Verwendung von Wölbklappen. Darüber hinaus ermöglichen sie es, beim Kreisen langsamer und dadurch mit engerem Kreisradius zu fliegen

Außer diesen, mehr oder weniger konstruktiv bedingten Maßnahmen, kann man Veränderungen des optimalen Gleitwinkels beim Fliegen mit Rücken- oder Gegenwind, Auf- oder Abwind taktisch so ausnutzen, daß sich die Reisegeschwindigkeit erhöht.

Ein einfaches Gedankenexperiment zeigt uns, daß es bei Rücken- und Gegenwind bzw. bei Auf- und Abwind nicht mehr optimal wäre, mit der Flugeschwindigkeit des besten Gleitwinkels für ruhige Luft zu fliegen: denn, wenn der Gegenwind genauso stark wäre wie die Geschwindigkeit des Flugzeugs gegenüber der umgebenden Luft, bliebe das Flugzeug gegenüber dem Erdboden auf der Stelle stehen. Erst wenn man die Flugeschwindigkeit wieder erhöhte, bewegte sich das Flugzeug gegenüber der Erdoberfläche.

Also: Gegenüber der Luftmasse gilt selbstverständlich nach wie vor die ursprüngliche Polare, aber gegenüber dem Gelände bewegt sich ein Flugzeug bei Gegenwind langsamer und bei Rückenwind schneller. Damit ändert sich auch Gleitwinkel, Gleitverhältnis bzw. Gleitzahl. Es ist so, als hätte man das Koordi-

natensystem verschoben und zwar bei Rückenwind nach links und bei Gegenwind nach rechts. Entsprechend ändern sich auch die Bedingungen für einen optimalen Gleitwinkel (Bild 40[2]). Bei Gegenwind muß schneller und bei Rückenwind langsamer geflogen werden. Im Beispiel von Bild 40 muß bei 50 km/h Gegenwind 30 km/h schneller geflogen werden, um optimales Gleiten zu erreichen. Bei 50 km/h Rückenwind braucht nur 10 km/h langsamer geflogen zu werden, um den optimalen Gleitwinkel zu erreichen. Diese Veränderungen verlaufen also nicht proportional zur Gegen- bzw. Rückenwindgeschwindigkeit.

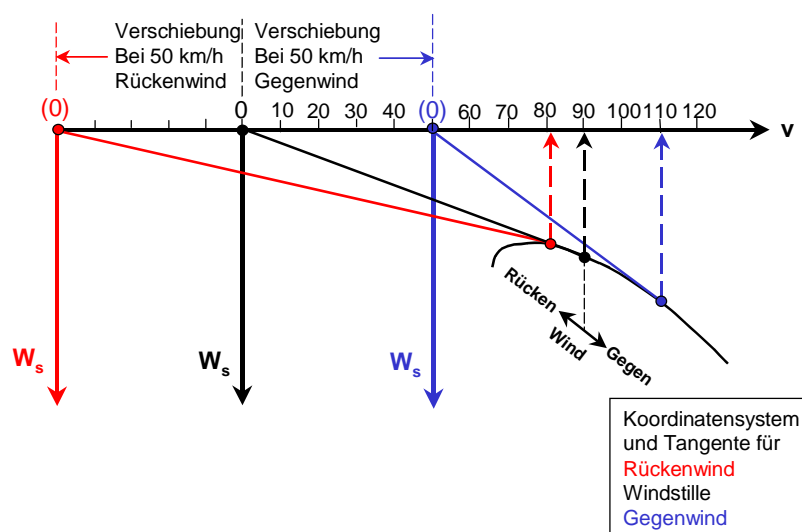


Bild 40: Veränderung der Lage des Koordinatensystems und der Tangente an die Sinkgeschwindigkeitspolare bei Rücken- u. Gegenwind [2]

Allgemein kann man sagen (Tab.1) : Bei 15m/s Gegenwind muß man z.B. je nach Segelflugzeug ca. 20 ..35% schneller und bei 15m/s Rückenwind nur ca. 2..8% langsamer fliegen. Das muß man auch bei Thermikflügen am Platz beachten, um bei starkem Wind immer wieder sicher zum Platz zurückzukommen. Bei starkem Gegenwind muß man viel schneller gegen den Wind fliegen, um den Platz überhaupt noch zu erreichen. Diese Problematik wird noch einmal eine Rolle bei der Besprechung des Zielflugs spielen.

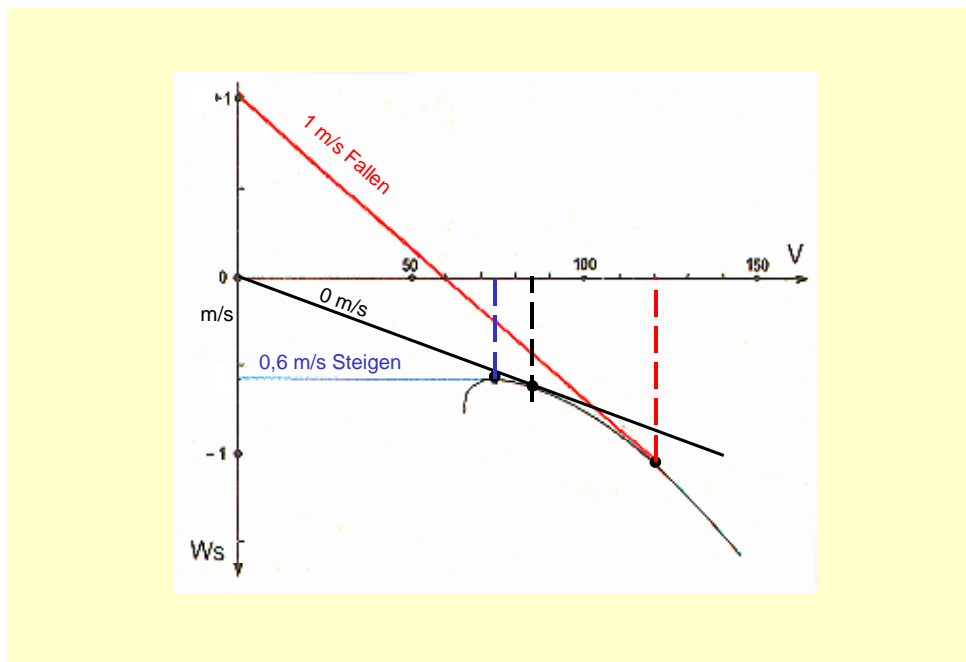


Bild 41: Veränderung der Lage des Koordinatensystems und der Tangente an die Sinkgeschwindigkeitspolare bei Auf- und Abwind [2]

Für die „Sollfahrt“ zwischen den Steigebieten ist der Einfluß von Auf- und Abwinden auf die optimale Fluggeschwindigkeit wichtig.

Auf- und Abwinde verschieben die Lage des Koordinatenkreuzes im Verhältnis zur Polaren ebenfalls. Bei Aufwind verschiebt sich das Koordinatensystem nach unten (Bild 41 [2]) und ändert die Optimierungsbedingungen. Man sollte langsamer fliegen, um das Steigen maximal auszunutzen und anschließend schneller fliegen, um schnell durch das Fallen hindurch zu kommen. Im Beispiel von Bild 41[2] bedeutet das: bei 1 m/s Fallen muß mit 120 km/h und bei 0,6 m/s Steigen muß mit 70 km/h geflogen werden

3.3. Sollfahrt-Geschwindigkeit

Im realen Streckenflug ist für eine Optimierung beides zu berücksichtigen: das Fallen zwischen den Aufwinden und das zu erwartende Steigen im nächsten Aufwind. Bereits in den 30iger Jahren ahnten verschiedene Segelflieger, daß es beim Streckenflug falsch sei, nach dem Erreichen der maximalen Höhe möglichst lange „oben“ zu bleiben, sondern daß es besser sei, zwischen den Steigebieten schneller zu fliegen, um besser voranzukommen. Der Ungar Rotter berichtete 1936 nach seinem sensationellen Flug von Berlin nach Kiel, daß er mit einer Sprunggeschwindigkeit von 120-140 km/h geflogen sei, während er Thermikgebiete unter Zuhilfenahme der Wölbklappen nur mit 60 km/h durchflog, um ihr Steigen, ohne zu kreisen, auszunutzen

Der erste Segelflieger, der nachweislich optimale Sprunggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von dem zu erwartenden Steigen errechnete, und sie während des 19. Rhönwettbewerbs in Form einer geheimgehaltenen Tabelle bei sich führte, war Wolfgang Späte. Von seinen Kameraden wurde er zunächst verlacht, wie er zwischen den Aufwinden die Höhe mit einer Geschwindigkeit wegdrückte, die ihrer Meinung nach für einen Looping gereicht hätte. Sie lachten nicht mehr, als er den Rhönwettbewerb gewann. Seinen Erfahrungsbericht „Beste Reisegeschwindigkeit bei Segelflugzeugen“ ging in die „Berichte der 19. Rhön 1938“ ein. In der Folgezeit begann man sich in Polen, in den USA und in Deutschland mit der Problematik der optimalen Sprunggeschwindigkeit zu befassen. Ende der 40er Jahre erschienen die ersten mathematisch-physikalisch begründeten Theorien über die optimale Sprunggeschwindigkeit. Fast gleichzeitig veröffentlichten K. Nickel [11] [12] und P. Mc Cready [13] die heute noch gültigen mathematischen Grundlagen des Problems. Während Späte zunächst noch Tabellen und Nickel einen Thermikrechenschieber für die Ermittlung der optimalen Sprunggeschwindigkeit und der mittleren Reisegeschwindigkeit vorschlug, hatte Paul Mc Cready die geniale Idee, die errechneten Sollfahrt-Geschwindigkeitswerte so auf dem Ring des Variometers anzuordnen, daß der Variometerzeiger automatisch immer die erforderliche Sprunggeschwindigkeit anzeigt. Dieser Ring wird noch heute nach ihm als Mc Cready-Ring bezeichnet. Man stellt ihn auf das mittlere Steigen des Tages- oder noch besser auf das im nächsten Aufwindgebiet **zu erwartende** Steigen ein und der Variometerzeiger gibt die optimale Fluggeschwindigkeit an. In der DDR wurden 1955 von W. Morgner [14] solche Mc-Ready-Ringskalen u.a. auch für Baby IIB und Jaskolka veröffentlicht.

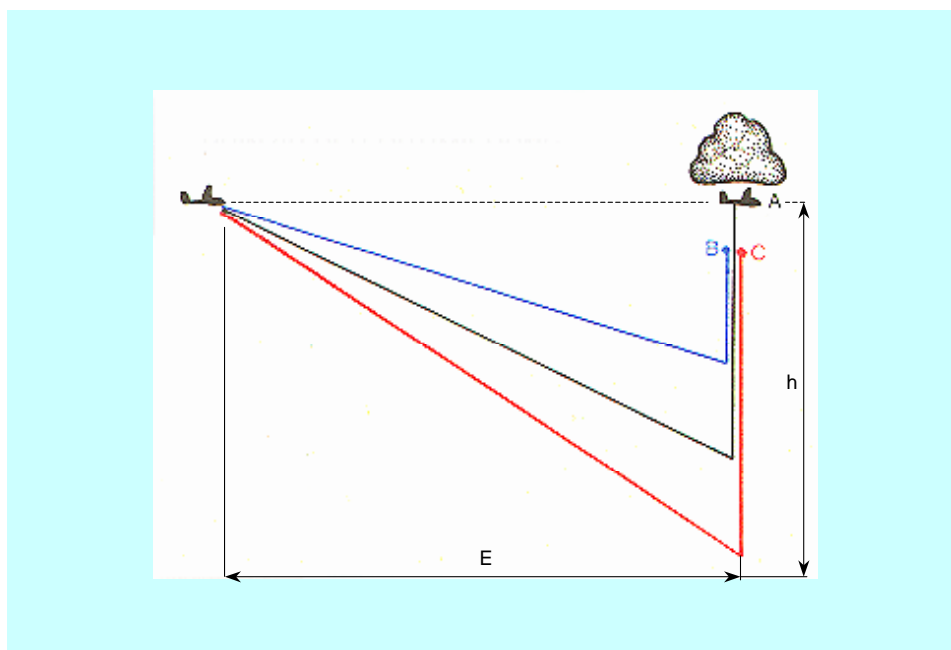


Bild 42: Momentaufnahme der Flugwege nach unterschiedlichen Sprunggeschwindigkeiten für die Piloten A(optimal), B(zu langsam) und C(zu schnell) [2]

Zwar sind heute noch in vielen Seglern die Mc Cready-Ringe angebracht, aber immer mehr übernehmen elektronische Sollfahrtgeber diese Aufgabe.

Mc Cready, Weltmeister der 50er Jahre und lange Zeit Inhaber des Höhenweltrekords, ging von folgenden Erfahrungen aus:

Es gibt Piloten, wie z.B. in Bild 42[2] der Pilot B, die sehr vorsichtig fliegen und z.B. nur mit der Geschwindigkeit des besten Gleitens für den Normalflug auf Strecke gehen. Sie kommen aber nur langsam voran. Andere Piloten, glauben besser voranzukommen, indem sie extrem schnell fliegen (Pilot C in Bild 42[2]). Sie sind auf Grund des größeren Eigensinkens entsprechend der Sinkgeschwindigkeits-Polare (schlechterer Gleitwinkel) allerdings dann sehr schnell wieder unten und brauchen länger, um wieder auf die Ausgangshöhe zu kommen. Optimal ist der Pilot A, der bei der Wahl seiner Geschwindigkeit sowohl das Fallen zwischen den Steiggebieten, als auch das zu erwartende Steigen unter der nächsten Wolke berücksichtigt. Er wählt eine Geschwindigkeit, die in Bild 43[2] der Tangente an die Polare bei St 1m/s entspräche. Er hat am schnellsten die Ausgangshöhe wieder erreicht. Liegt

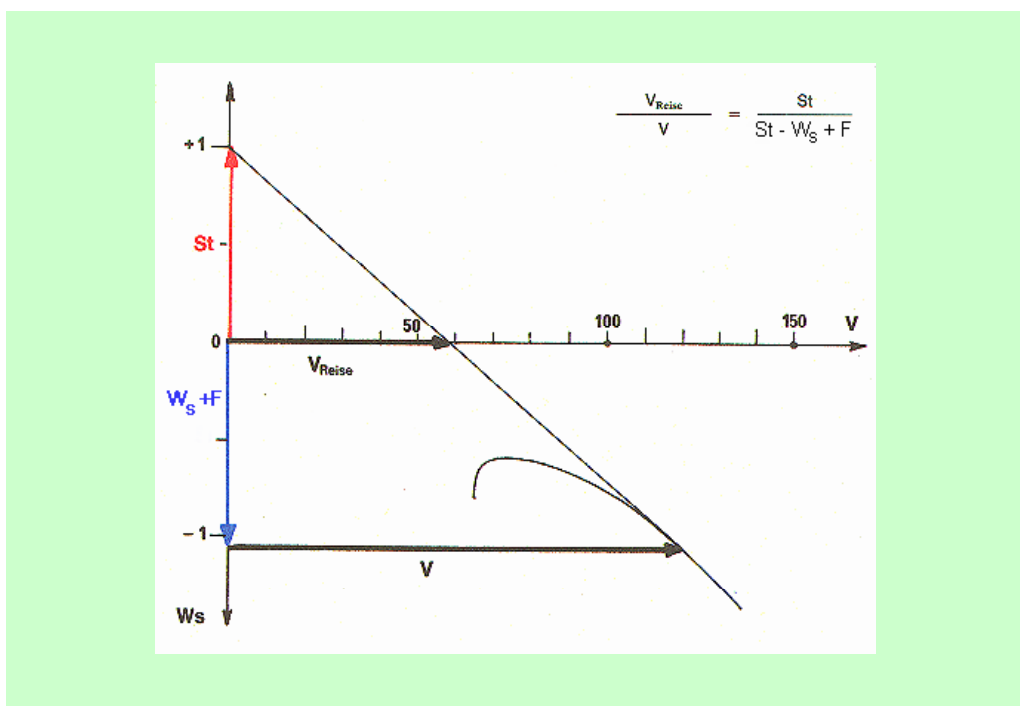


Bild 43: Streckenflugmodell von Mc Cready

diesen Ergebnissen eine Gesetzmäßigkeit zugrunde? Ja, so ist es und sie wurde von Paul Mc Cready im Mc-Cready-Ring umgesetzt, obwohl die prinzipiellen Zusammenhänge, wie bereits erwähnt, schon vor ihm bekannt waren. Nachfolgend soll wieder für mathematisch Interessierte die mathematische Grundlage erläutert werden.

Ein Streckenflug besteht aus vielen gleichen Elementen: Geradeausflug von der im letzten Aufwind erreichten Ausgangshöhe h bis zum nächsten Aufwind, danach wieder Steigen bis auf die Ausgangshöhe und so weiter. Die mittlere Reisegeschwindigkeit v_R läßt sich also errechnen, wenn man sich einen solchen Streckenabschnitt betrachtet (Bild 42[2]) . Er besteht aus dem Gleitflug zwischen den Aufwinden mit v als Gleitfluggeschwindigkeit (v ist bei ruhiger Luft näherungsweise gleich der Geschwindigkeit v über Grund) und dem Gesamtsinken (meteorologisches Fallen F + Flugzeugeigensinken w_s) sowie dem Höhengewinn h im Steiggebiet mit der Steiggeschwindigkeit St , bei der man wieder auf die Ausgangshöhe kommt. Hierfür benötigt das Flugzeug insgesamt die Zeit t , die sich aus t_1 = Gleitzeit und t_2 = Steigzeit zusammensetzt.

Die mittlere Reisegeschwindigkeit v_R ist damit

$$v_R = \frac{E}{t} \quad (3.1)$$

Für die Gesamtflugzeit ergibt sich

$$t = t_1 + t_2 \quad (3.2)$$

Der Höhenverlust h ist

$$h = t_1 \cdot (w_s + F) \quad (3.3)$$

Der Höhengewinn beim Steigen beträgt

$$h = t_2 \cdot St \quad (3.4)$$

Stellen wir diese Gleichung nach t_2 um, ergibt sich

$$t_2 = \frac{h}{St} \quad (3.5)$$

Ersetzen wir in dieser Gleichung das h durch die rechte Seite von Gl (3.3), so ergibt sich

$$t_2 = t_1 \frac{(w_s + F)}{St} \quad (3.6)$$

Die Gleitzeit

$$t_1 = \frac{E}{v} \quad (3.7)$$

wird eingesetzt in Gl. (3.6). Das ergibt

$$t_2 = \frac{E}{v} \cdot \frac{(w_s + F)}{St} \quad (3.8)$$

Die Teilzeiten der Gl. 3.7 und 3.8 werden zur Gesamtzeit t gem. Gl. 3.2 zusammengesetzt. Das ergibt

$$t = \frac{E}{v} + \frac{E}{v} \cdot \frac{(w_s + F)}{St} \quad (3.9)$$

In dieser Gleichung läßt sich $\frac{E}{v}$ ausklammern. Das ergibt

$$t = \frac{E}{v} \left(1 + \frac{(w_s + F)}{St} \right) \quad (3.10)$$

Wir lösen diese Gleichung nach E auf und erhalten

$$E = \frac{t \cdot v}{1 + \frac{w_s + F}{St}} \quad (3.11)$$

Der Nenner wird etwas umgestellt, woraus sich ergibt

$$E = \frac{t \cdot v}{\frac{St + w_s + F}{St}} = \frac{t \cdot v \cdot St}{St + w_s + F} \quad (3.12)$$

Die rechte Seite von Gl. 3.12 wird in Gl. 3.1 ($v_R = \frac{E}{t}$) eingesetzt, woraus sich die Gleichung

$$v_R = \frac{v \cdot St}{St + w_s + F} \quad (3.13)$$

ergibt. Man kann diese Gleichung als Verhältnisgleichung umstellen und schreiben

$$\frac{v_R}{v} = \frac{St}{w_s + St + F} \quad (3.14)$$

und sich diese Verhältnisgleichung mit Hilfe des Strahlensatzes graphisch mit dem bereits erläuterten Bild 43[2] deuten. Dabei erkennt man, daß v_R nur jeweils für eine Fluggeschwindigkeit v maximal wird, nämlich, wenn sie dem Berührungspunkt einer Tangente an die Sinkgeschwindigkeitspolare entspricht. Dann entsprechen die Streckenverhältnisse in Bild 43 [2] vollkommen dem mit Gl. 3.14 abgeleiteten Ergebnis. Höher oder niedriger gewählte Fluggeschwindigkeiten v würden eine geringere Reisegeschwindigkeit v_R ergeben. Diese graphisch erläuterte Lösung für die maximale Reisegeschwindigkeit läßt sich auch rechnerisch durch Differentiation der Gl. 3.10 erzielen.

Gl. 3.14 war die Grundidee sogenannter Thermikrechenschieber [11,12,14] und später des heute üblichen Mc Cready-Rings: Für alle möglichen $St+w_s+F$ -Werte wurden vorher graphisch die Tangentenwerte ermittelt, indem vom Koordinatenursprung des Sinkgeschwindigkeits- Polardiagramms auf der y- Achse nach oben alle möglichen Steigwerte aufgetragen werden und von diesen Punkten aus die Tangenten an die Polare gezogen werden. Die Vorgehensweise zur graphischen Ermittlung der v - und v_R -Werte wird modellhaft in Bild 44 gezeigt. Man beginnt beispielsweise bei einem Steigen von 1m/s und zieht von diesem Ordinatenwert (Punkt 1) eine Tangente an die Polare, Dabei ergibt sich als Berührungspunkt (Punkt 2) die optimale Sprunggeschwindigkeit, d.h., man findet sie senkrecht über diesem Punkt als Schnittpunkt mit der Abszisse in Punkt 3 . Geht man weiter senkrecht nach oben, so findet man in Pkt 4 als ersten Kurvenpunkt der künftigen v – Kurve den Schnittpunkt mit der Horizontalen von Punkt 1. Der Schnittpunkt der Tangente mit der Abszisse ergibt in Punkt 5 die zu v zugehörige Reisegeschwindigkeit v_R . Geht man über diesem Punkt senkrecht noch oben, so ergibt der Schnittpunkt mit der Horizontalen des 1m/s – Ordinatenwertes in 6 den ersten Punkt der v_R -Kurve , Verfährt man mit weiteren Steigwerten ähnlich und verbindet entsprechende Punkte, ergeben sich schließlich die beiden Kurvenverläufe für v und v_R .

Während die v_R -Werte nur für Überschlagsrechnungen Bedeutung haben, werden die v -Werte auf einem Ring eingetragen und außen drehbar am Variometer angebracht. Beachtet werden muß, daß man die v -Werte jeweils über dem w_s -Wert des Varios einträgt, der gem. Polare zu der empfohlenen Sprunggeschwindigkeit gehört. Bild 45[1] enthält als Beispiel einen Mc Cready-Ring für das Segelflugzeug Foka 4. (Es hat nichts mit dem in Bild 44 vorher gewählten Beispiel zu tun, dem eine gedachte Polare zugrunde lag).

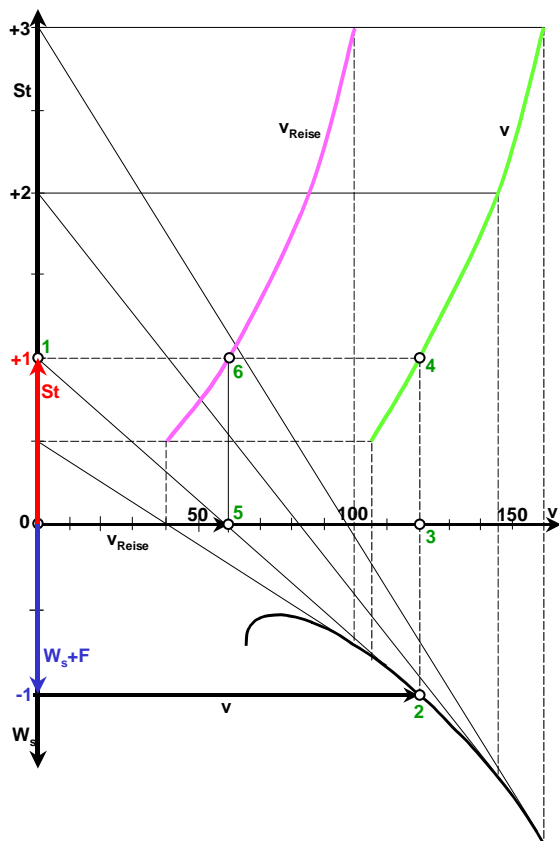


Bild 44: Graphische Herleitung der Mc-Cready-Beziehungen für einige Steiggeschwindigkeiten, Fluggeschwindigkeiten v und Reisegeschwindigkeiten v_R (s. [2] und[14])

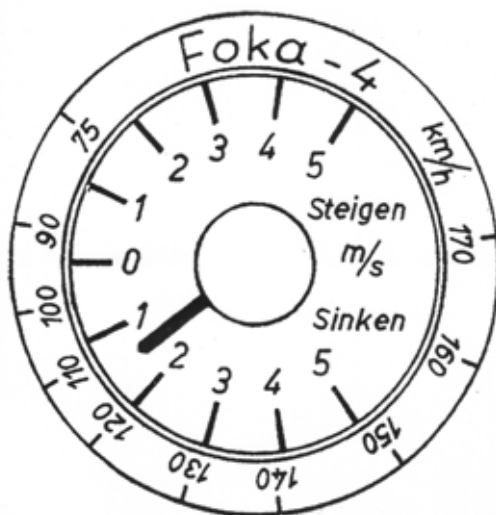


Bild 45: Scheibenkalkulator (Mc-Cready-Ring) für das Flugzeug Foka 4 in Verbindung mit einem Stauscheibenvariometer. Der Ring ist auf eine Vorgabe von 1,5 m/s Steigen eingestellt. Die einzunehmende Fluggeschwindigkeit (Sollfahrt) beträgt 115 km/h [1]

Die Vorgehensweise bei Verwendung des MC-Ringes ist so, daß man den beweglich über dem Vario befindlichen Sollfahrtring mit dem Pfeil (bzw. mit der

kleinsten Geschwindigkeit , im Bild: 75 km/h) auf das beim nächsten Aufwind zu erwartende Steigen (oder, wenn es sich schlecht abschätzen läßt, auf das mittlere Steigen des Tages) einstellt. Die optimale Fluggeschwindigkeit ergibt sich nun daraus, daß der Variozeiger in jedem Augenblick des Fluges zu St das augenblickliche Eigensinken sowie das meteorologische Sinken hinzuaddiert und automatisch die Tangentenwerte für $(St + w_s + F)$ anzeigt. Nach dem Strahlensatz ist dann also immer die Bedingung erfüllt, daß

$$\frac{v_R}{v} = \frac{St}{St + w_s + F} \quad (3.15)$$

ist.

Der Ring gibt also während des Fluges immer die optimale Fluggeschwindigkeit v an, welche zu einer maximalen Reisegeschwindigkeit v_R führt. Zu beachten ist unbedingt, daß der Ring immer nur für eine vorgegebene Flächenbelastung bzw. ein vorgegebenes Profil gilt. Verwendet man Wasserballast oder Wölbklappen, muß die Mc-Cready-Ring z.B. als weitere Eintragungen die veränderte Sinkgeschwindigkeitspolare berücksichtigen.

Die **graphische** Methode des Anlegens der Tangente an die Sinkgeschwindigkeitspolare von allen möglichen Steigwerten aus ist die **eine** Möglichkeit, um zur optimalen Fluggeschwindigkeit bzw. zu der dazugehörigen maximalen Reisegeschwindigkeit zu gelangen. Man kann diese Werte auch **rechnerisch** ermitteln, wie wir noch sehen werden.

3.4. Rechnerische Ermittlung der maximalen Reisegeschwindigkeit

Moderne elektronische Segelflugrechner zeigen nicht nur die optimale Fluggeschwindigkeit an, sondern errechnen ständig auch das v_R und verarbeiten es für navigatorische Berechnungen. Wer nicht über einen solchen Rechner verfügt, kann sich die maximal erreichbare Reisegeschwindigkeit in Abhängigkeit vom mittleren Steigen auch ausrechnen. Der polnische Segelflieger Zientek hat nämlich die Formel zur Ermittlung der Reisegeschwindigkeit weiter vereinfacht. Er ist von statistischen Untersuchungen ausgegangen, die besagten, daß das mittlere meteorologische Sinken des Tages etwa ein Fünftel der mittleren Steiggeschwindigkeit beträgt ($F = 0,2 \cdot St$) und hat demzufolge die Reisegeschwindigkeitsformel folgendermaßen vereinfacht:

$$v_R = \frac{v \cdot St}{w_s + 0,2 \cdot St + F} = \frac{v \cdot St}{1,2 \cdot St + w_s} \quad (3.16)$$

Um das St aus dem Zähler wegzubringen muß man Nenner und Zähler durch St teilen und erhält

$$v_R = \frac{v}{1,2 + \frac{w_s}{St}} \quad (3.17)$$

Diese Formel kann man benutzen, um für beliebiges Steigen und beliebige Fluggeschwindigkeiten die zu erzielenden Reisegeschwindigkeiten zu berechnen. Außerdem kann man hiermit auf rechnerischem Wege (im Unterschied zur graphischen Methode von Bild 44) die optimale Fluggeschwindigkeit für jedes mittlere Steigen berechnen. Es ist zweckmäßig, diese Werte zunächst für die Steigwerte 0,5; 1; 1,2; 2; 3 m/s usw. als Kurven

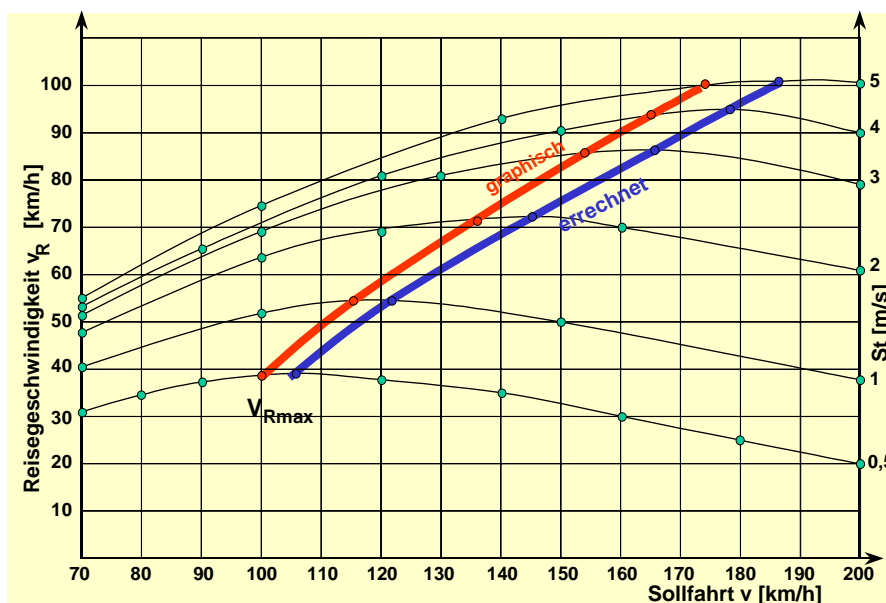


Bild 46: Graphisch (obere Kurve) und rechnerisch (untere Kurve) ermittelte Sollfahrt v und mittlere Reisegeschwindigkeit v_R in Abhängigkeit vom mittleren Steigen St für das Segelflugzeug ASW 15

aufzutragen. Man erhält dann Kurvenscharen (Bild 46 [15]) für die Reisegeschwindigkeit bei verschiedenem Steigen und frei gewählter Fluggeschwindigkeit. Wir erkennen, daß diese Kurven ein Maximum haben. Verbinden wir alle Maxima miteinander, ergibt sich die stark ausgezogene **errechnete Kurve** für alle Fluggeschwindigkeiten, welche zu einer maximalen Reisegeschwindigkeit v_{Rmax} führen würden. Man kann diese Kurve auch aus den Berührungspunkten der Tangenten mit der Polare erhalten, d.h., auf dem Wege, wie es bereits beschrieben wurde. Die Werte für die graphisch ermittelte Kurve liegen nur wenig über den rechnerisch ermittelten Werten.

Die nebenstehende Tabelle 3 gibt für Bocian, Pirat, Foka, ASW 15 und Jantar die maximal erreichbaren Reisegeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Steigen an. Diese Reisegeschwindigkeit v_R - und nicht etwa die Fluggeschwindigkeit v muß man benutzen, wenn man mit dem navigatorischen Geschwindigkeitsdreieck rechnen will. Die v_{Rmax} -Kurve ist ziemlich genau mit einer Parabel zu beschreiben, so daß man sich die Reisegeschwindigkeit aus folgender Gleichung errechnen kann:

$$v_{Rmax} = \sqrt{a \cdot St} \quad (3.18)$$

Der Parameter a ist beispielsweise für den Bocian = 1800, für die ASW 15 = 2100, für den Piraten 2300 und für die Foka=2700.

St[m/s]	V_R [km/h] Bocian	V_R [km/h] Pirat	V_R [km/h] ASW 15	V_R [km/h] Foka	V_R [km/h] Cirrus	V_R [km/h] Jantar
0,5	30	35	38	38	40	42
1,0	43	50	55	55	55	60
1,5	55	60	63	67	65	72
2,0	60	68	70	75	75	82
2,5	68	75	78	82	85	90
3,0	75	82	85	87	90	98

Tab 3: Erzielbare maximale Reisegeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom mittleren Steigen für einige Segelflugzeugtypen

Die Kurvenscharen in Bild 46 erlauben uns noch eine andere interessante Aussage zu treffen:

Man sollte das Streben nach der optimalen Sollfahrt nicht übertreiben, denn die Maxima der Kurven sind sehr flach, d.h., Sollfahrtabweichungen von $\pm 5...10$ km/h haben nur einen geringen Einfluß auf die erzielbare Reisegeschwindigkeit. Das Finden der maximalen Thermik, das richtige Zentrieren, Höhetanken durch S- Schlag unter einer Wolke, die richtige Wahl des Kurses entlang von Wolkenstraßen, das Vermeiden von Gammelkreisen sind viel entscheidendere Faktoren.

4. Zielanflug

Als letzte Komponente der Streckenflugo Optimierung ist der richtige Zielanflug zu nennen, bei dem die Anflughöhe bzw. die Anfluggeschwindigkeit so gewählt wird, daß der letzte, im Geradeausflug zu wählende Streckenabschnitt so kurz

wie möglich dauert und man genau am Zielflugplatz - unter Berücksichtigung einer gewissen Sicherheitshöhe - ankommt.

Moderne, mit GPS gekoppelte Gleitfadrechner erledigen diese Berechnung für uns automatisch. Wenn ein solcher Rechner mal ausfällt oder man falsche Werte eingegeben hat, was dann? Ein Überschlag lohnt sich immer. Welche Hilfsmittel habe ich für einen solchen Überschlag zur Verfügung? Sie sind nachfolgend kurz zusammengefaßt:

- Höhenmesser, Fahrtmesser, Karte,
 - Entfernungskreise bei 5, 10, 15, 20, 30 km und ggf. Sollhöhen
 - GPS, der den erforderlichen Kurs, die Entfernung zum Ziel und die tatsächliche Geschwindigkeit über dem Boden anzeigt
 - Aus GPS- Geschwindigkeit und Fahrtmesseranzeige kann der Windeinfluß abgeschätzt werden
 - Im Überschlag errechnen: Gleitzahl 1:25 (für Bocian), Gleitzahl 1:30 (mit Sicherheit für Pirat, Junior), Gleitzahl 1:35 für Cirrus, Jantar.
Erforderliche Höhe $H_{\text{erf}} = E/30$. Bei einer Gleitzahl von 1:30 ergibt sich z.B. bei 15 km Entfernung $H_{\text{erf}} = 15000\text{m} / 30 = 500\text{ m}$
+ 200m Sicherheitshöhe = **700m**
Beachte: bei Gegenwind mehr Höhe, mehr Geschwindigkeit!
- * Benutzung einer Rechenscheibe.

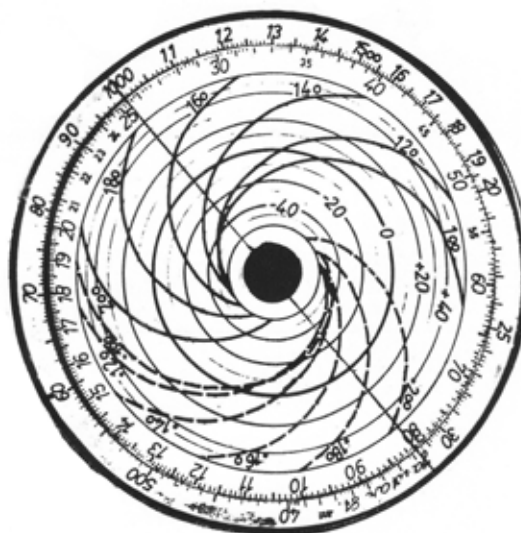


Bild 47: Rechenscheibe für den Zielanflug mit Jantar Std. Beispiel 1

Bild 47 [15] zeigt eine noch vor ca. 15-20 Jahren übliche Rechenscheibe für den Jantar. Ihr Aufbau beruht auf den bereits besprochenen Verschiebungen der Sinkgeschwindigkeitspolare bei Gegen- bzw. Rückenwind. Mit den Rechenscheiben lassen sich im Prinzip zwei Aufgaben lösen:

- a) Wie schnell muß/darf man fliegen, wenn man in einer bestimmten Entfernung vom Ziel eine bestimmte Höhe erreicht hat? Beispiel: Entfernung 40 km, Höhe 1600 m, Gegenwind 20 km/h.
- b) Man hat noch eine bestimmte Entfernung bis zum Ziel. Die vorhandene Höhe reicht nicht aus, um den Zielanflug durchzuführen. Wie hoch muß man mindestens steigen, um einen sicheren Zielanflug durchführen zu können? Beispiel :Entfernung 70 km, Höhe 1000m, Rückenwind 20 km/h.

Die Aufgabe a) wird folgendermaßen gelöst (Bild 47):

Auf dem Höhenring (außen) die Marke für 1600 über den darunter befindlichen Entfernungsrings bei Marke 40 stellen. Entlang der senkrechten Markierung unter der 1000 den Schnittpunkt mit dem Ring -20km/h suchen. Erliegt zwischen 120 und 140, also bei 130km/h. Das ist die Geschwindigkeit, die zu fliegen ist. Im weiteren Verlauf an den übereinander stehenden äußeren Ringen ständig kontrollieren, ob sich das Verhältnis Höhe:Entfernung ändert.

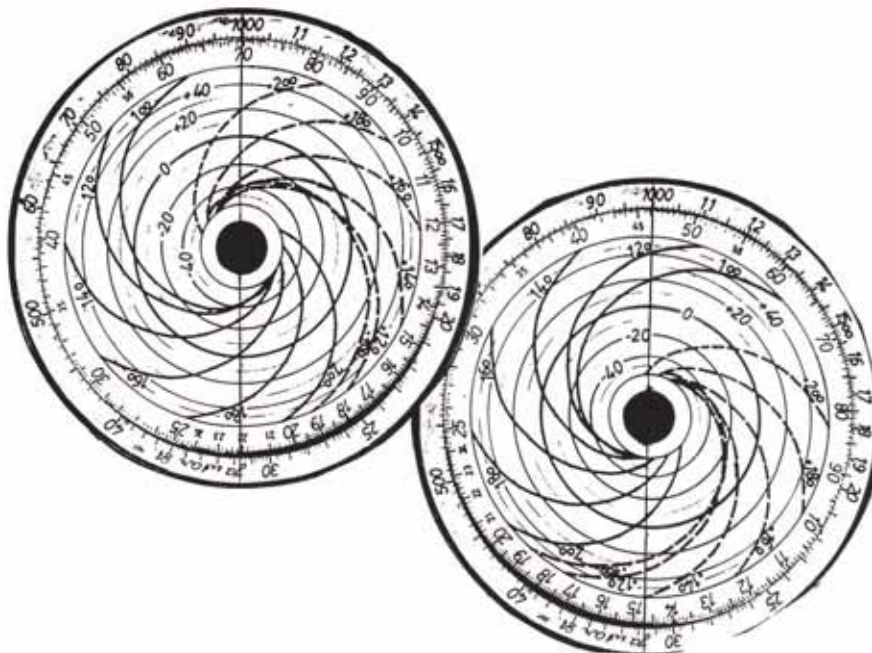


Bild 48: Rechenscheibe für den Zielanflug mit Jantar Std. Beispiel 2

Die Aufgabe b) wird folgendermaßen gelöst (Bild 48 links):

Höhenring mit 1000 über 70 beim zweiten Ring stellen. Höhe reicht nicht aus. Höhenring solange verstellen, bis der +20iger Ring sich mit der 100er Polaren schneidet (Bild 49 rechts) . Durch diese Verschiebung steht jetzt über der 70 eine Höhe von 1500 m . D.h., man muß noch $1500 - 1000 = 500$ m Höhe + 200 m Sicherheitshöhe tanken, um zum Ziel zu kommen.

5. Einfluß des Windes bei Zielstreckenflügen mit Rückkehr zum Startort

Aus Gründen der Effektivität wählt man bei Flügen für die DMST oder bei Wettkämpfen Zielstrecken mit Rückkehr oder Dreiecksflüge als Aufgaben. Wie ist das eigentlich bei einem Zielstreckenflug mit Rückkehr, wenn aus der Richtung des Wendepunktes ein starker Wind weht? Hebt sich der Gegen- und Rückenwind einfluß beim Hin- und Rückflug gegenseitig auf? Spielt also der Wind überhaupt keine Rolle für die Gesamtflugzeit und die erreichbare Reisegeschwindigkeit? Kann man sich daher einer solchen Aufgabe bei beliebiger Windgeschwindigkeit stellen?

Nein, es gibt eine deutliche und zwar quadratische Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit dergestalt, daß oberhalb einer bestimmten Windgeschwindigkeit solche Aufgaben einfach nicht mehr zu bewältigen sind. Auch hier gibt es einen einfachen mathematischen Zusammenhang.

Wir gehen wieder von der einfachen Beziehung

$$v_R = \frac{E}{t} \quad (5.1)$$

aus, die wir nach t umstellen:

$$t = \frac{E}{v_R} \quad (5.2)$$

und berücksichtigen, daß es zwei Teilzeiten entsprechend der Gegen- und Rückenwindstrecke gibt. Die Windgeschwindigkeit bezeichnen wir mit u.

Für die Gegenwindstrecke gilt:

$$t_1 = \frac{E}{v_R - u} \quad (5.3)$$

Für die Rückenwindstrecke gilt:

$$t_2 = \frac{E}{v_R + u} \quad (5.4)$$

Die Teilzeiten können erst nach Bildung eines gemeinsamen Nenners zu

$$t_{ges} = t_1 + t_2 \quad (5.5)$$

zusammengesetzt werden. Die Bildung des gemeinsamen Nenners erfolgt über den binomischen Satz $(v_R + u) \cdot (v_R - u) = (v_R^2 - u^2)$

Die insgesamt erforderliche Zeit ist:
$$t_{ges} = \frac{2E \cdot v_R}{v_R^2 - u^2} \quad (5.6)$$

Trägt man die sich ergebende Gesamtzeit über der Windgeschwindigkeit auf, so ergeben sich Kurvenscharen mit v_R bzw. St als Parameter (Bild 49 [16]).

Wie eigentlich zu erwarten war, ergibt sich, daß eine sinnvolle ZmR-Aufgabe nur gestellt werden darf, wenn $v_R > u$. v_R sollte wenigstens doppelt so groß sein wie die Windgeschwindigkeit. Je höher die Windgeschwindigkeit ist, um so höher muß die optimale Sprunggeschwindigkeit bzw. die maximale Reisegeschwindigkeit oder das Steigen sein, damit man eine Zielstrecke mit Rückkehr in einer zumutbaren Zeit schaffen kann. Je höher das mittlere Steigen, um so flacher sind die Kurven, d.h., um so geringer ist der Einfluß der Windgeschwindigkeit.

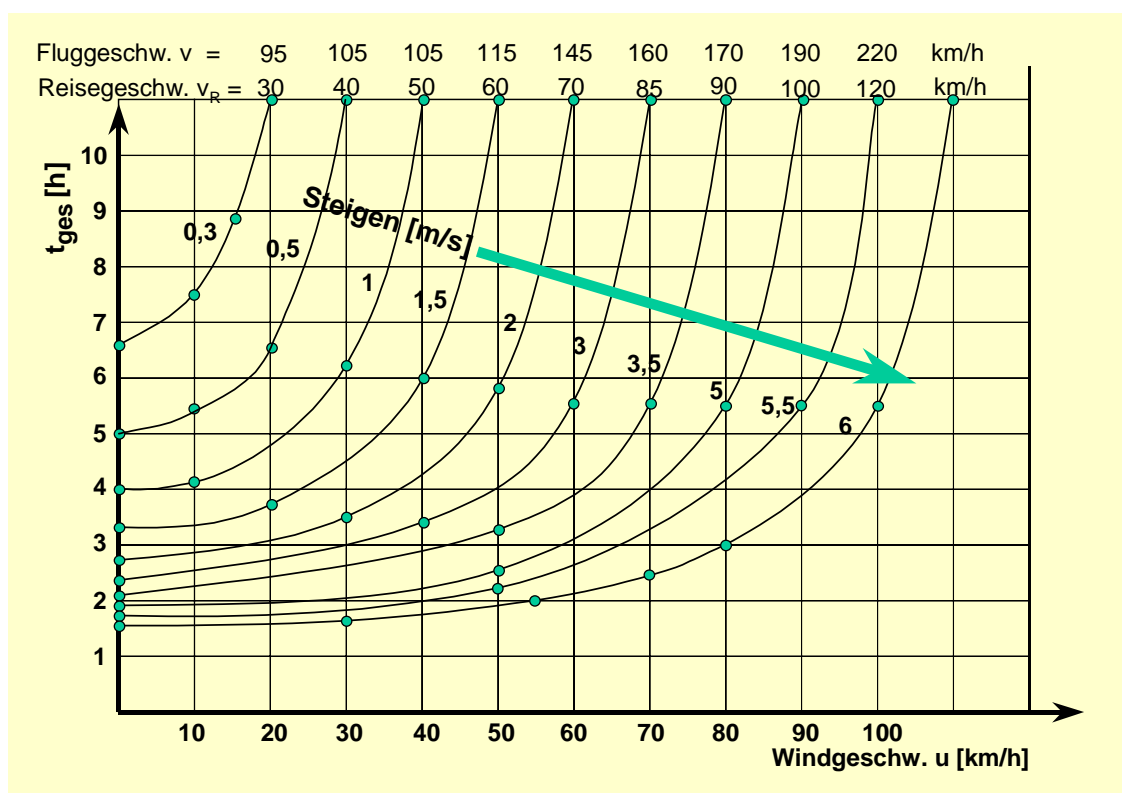


Bild 49: Flugzeit t_{ges} für einen 100 km ASW-15-Zielstreckenflug mit Rückkehr in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit u bei unterschiedlichem Steigen St bzw. unterschiedlicher Fluggeschwindigkeit v und Reisegeschwindigkeit v_R

Dazu zwei Beispiele:

- a) Bei einem mittleren Steigen von 5m/s haben z.B. bis zu 50 km/h Wind kaum einen Einfluß, wenn man eine solche Strecke mit der ASW 15 fliegt. Aber wann gibt es schon ein solches Steigen? Vielleicht in Südafrika.
- b) Das mittlere Steigen sei 3m/s. Bis zu 30 m/s Wind zeigt sich kaum ein Einfluß auf die erforderliche Flugzeit. Wenn man bereit ist, 6 h Flugzeit in Kauf zu nehmen, ist die Strecke sogar noch bei einem Wind von 60 km/h zu schaffen.

Man sollte das Training mit dem Mc Cready-Ring, mit Sollfahrtgebern und die Verwendung von Zielflugrechnern nicht erst bei einem großen Streckenflug üben, sondern schon vorher bei Flügen in der Flugplatzzone, z.B. in einem kleinen Dreieck, üben [16].

6. Zusammenfassung

Jeder Streckenflug setzt sich aus den 3 Abschnitten: Höhengewinn im thermischen Aufwind, Geradeausflug zwischen den Aufwindgebieten und Zielflug zusammen. In jeder dieser 3 Phasen muß man immer darauf bedacht sein, alle Detailhandlungen so zu optimieren, daß entweder eine bestimmte Strecke in kürzester Zeit zurückgelegt wird oder daß man die zur Verfügung stehende Zeit so ausnutzt, daß eine möglichst große Strecke geflogen wird.

Beim Höhengewinn in der Thermik liegen die Reserven in der Ausnutzung geländeklimatologischen Kenntnisse, im optimalen Zentrieren und Lokalisieren unter Berücksichtigung des Windes, sowie der Struktur- und Substruktur der Thermikblasen, in der Wahl einer wissenschaftlich begründeten optimalen Geschwindigkeit und Schräglage beim Kreisen in der Thermik sowie einem optimalen Ausflughverhalten aus dem Aufwindgebiet.

Beim Geradeausflug zwischen den Steiggebieten und beim Zielflug kommt es auf die optimale Wahl des Flugweges unter Beachtung des Geländes und der Position aufwindträchtiger Wolken sowie auf die optimale Wahl der Fluggeschwindigkeit in Abhängigkeit von Auf- und Abwinden, Rücken- Gegen- und Seitenwind an. Es wird die Mc Cready-Theorie erläutert, welche es erlaubt, die Abhängigkeit der erreichbaren Reisegeschwindigkeit von der Aufwindstärke des vorausliegenden Aufwindgebietes zu berechnen bzw. über entsprechende Hilfsmittel anzuzeigen. Es wird aber rechnerisch auch gezeigt, daß man bei der Wahl der Fluggeschwindigkeit gem. Mc Cready-Ring relativ großzügig vorgehen kann, da Abweichungen in der Fluggeschwindigkeiten von ca. 5-10% nur einen

relativ geringen Einfluß auf die maximal erreichbare Reisegeschwindigkeit haben.

Es wird der positive Einfluß einer erhöhten Flächenbelastung durch Wasserballast erläutert und es wird auf den Höheneinfluß auf die Variometer- und Fahrtmesseranzeige hingewiesen.

Beim Zielflug kommt es darauf an, den richtigen Zeitpunkt und die erforderliche Abflughöhe unter Beachtung einer Sicherheitsreserve so zu wählen, daß das Ziel erreicht wird. Hierzu sind Gleitfadrechner und wenn nicht vorhanden, Rechenscheiben oder Überschlagsrechnungen erforderlich. Da heutzutage in den meisten Fällen Flügen mit Rückkehr zum Startort der Vorzug gegeben wird, ist es von Interesse, den Einfluß des Windes auf die maximal wählbaren Entfernungen einschätzen zu können. Das wird am Beispiel von Streckenflügen mit Rückkehr zum Startort vorgerechnet, wobei Empfehlungen gegeben werden, die vom mittleren Steigen, bzw. der optimalen Fluggeschwindigkeit einerseits und der Windgeschwindigkeit andererseits abhängen.. Es läßt sich generell sagen, daß die nach Mc Cready errechnete mittlere Reisegeschwindigkeit mindestens doppelt so hoch sein sollte, wie die herrschende Windgeschwindigkeit

7. Literaturverzeichnis

- [1] Methodik und Technik des Leistungssegelfluges
Erarbeitet von Gerhard Wissmann; Zeichnungen von Irmgard Morgner
Zentralvorstand der GST/Abtl. Flugsport
FII/3-1967
- [2] Reichmann, H.:
Streckensegelflug
Motorbuchverlag Stuttgart, 2.Aufl. 1976
(Letzte Auflage Nr.9/ 2005)
- [3] Segelflugkommission:
Die Segelflugausbildung. Methodik, Richtlinien und Bestimmungen
Deutscher Aeroclub Wirtschaftsdienst GmbH
September 1979, S.35
- [4] Rampe, G.
Aufbau eines Thermals
Internet-Crashkurs 12 2008
www.wetterklima.de/flug/soaring/Thermalaufbau.htm

- [5] Konovalov, D.A.:
On the structure of thermals
OSTIV-Bericht Nr. 11 1970
- [6] Eppler, R.:
Der günstigste Kreisflug von Segelflugzeugen
Z.f. Flugwiss. 1(1954) S. 15-16
- [7] Morgner, W., Altenburg, K.:
Fluggeschwindigkeit und Schräglage
Aerosport 10, Okt. 1961, S.12
- [8] Iltschenko, W.M.
Segelflug (russ.)
DOOSAAF Moskau 1960 (96 Seiten)
- [9] Carmichael, B.H.
Soaring 18 (1954) Mai, Juni
- [10] Raspet, A., Gyorgyfalvy, D.:
Z.f. Flugwiss. 8(1960) H.9
- [11] Nickel, K.:
Die günstigste Geschwindigkeit des Streckenfluges.
Thermik Okt. 1949
Und Schweizer Aero-Revue 6,9 (1949)
- [12] Nickel, K.:
Die Mc Cready-Ringskala
Thermik. April 1950
- [13] Mc Cready, P.:
Die beste Streckenfluggeschwindigkeit für Segelflugzeuge
Aero-Revue Nov. 1949
- [14] Morgner, W.:
Einiges über Thermikrechenschieber
Flugsport 11 (1955) S.7-10
- [15] Morgner, W.:
Der Einfluß des Windes bei Zielstreckenflügen mit Rückkehr zum
Startort
Aerosport 3 (1961)

- [16] Morgner, W.:
Training im kleinen Dreieck
Flügel der Heimat 7 (1958) S.16-18