

Nutzung thermischer Aufwinde beim Segelflugsport

Methodik zum Einkreisen und Zentrieren

Das Einkreisen in die Thermik ist ein grundlegender Zyklus beim Segelfliegen, der wohl meistens emotional ausgeführt wird und auf Erfahrung beruht. Aber damit kann sich ein Pilot nicht sicher sein, ob richtig gehandelt wurde. In der Segelflugausbildung bleibt es dem Belieben des Fluglehrers überlassen eine Taktik zu vermitteln. Meistens wird eine emotional basierte Praxis vorgeflogen, die vom Schüler aufzunehmen ist. Bei dieser Verfahrensweise bleibt der Lernerfolg dem Zufall überlassen, und es stellen sich Fragen, ob die üblicherweise vorgeflogene Methode optimal, erklärlich und nachzulesen ist.

Das Einkreisen in thermische Aufwinde (Thermik) und Zentrieren der Thermik ist für den Segelflug essenziell, um Energie zu gewinnen. Daher sollte dieser Zyklus des Segelfluges möglichst sicher und effizient geregelt sein, um damit den Weiterflug zu ermöglichen und die Reisegeschwindigkeit zu maximieren.

Mit diesem Artikel wird angestrebt, vom emotional basierten Verfahren zum Einkreisen und Zentrieren der Thermik zu einer der Logik und den Fakten folgenden Methode zu wechseln.

Beim Einkreisen aus dem Geradeausflug und Zentrieren der Thermik ergeben sich Fragen wie beispielsweise:

- Wann Einkreisen aus dem Geradeausflug?
- Welche Geschwindigkeit beim Einkreisen?
- Welche Kreisrichtung?
- Welche Querneigung?
- Welche angezeigten Steiggeschwindigkeiten sind brauchbar?
- Welche Entscheidungskriterien sind erforderlich?
- Weiterkreisen oder weiterfliegen?

Die Frage, wann einzukreisen ist, unterteilt sich in den taktischen und den methodischen Teil. Taktisch muss entschieden werden, ob in einer Flugphase eingekreist werden sollte und wenn ja, wie stark das mittlere Steigen sein sollte. Methodisch ist zu entscheiden, wann das Flugzeug in den Kreisflug zu steuern ist, nachdem entschieden wurde, an diesem Ort zum Zweck der Thermiknutzung zu kreisen. Im Folgenden wird der methodische Teil beschrieben, der im **Bild 1** schematisch dargestellt ist.

Zu allem sollte ein totalenergie-kompensiertes Variometer mit einer Zeitkonstante um 1,5 s vorhanden sein. Die Güte der Kompensation sollte während eines Fluges mit einem Brutto-Variometer geprüft werden. Dazu wird aus einem Geradeausflug mit rund 100 km/h binnen 5 s auf 160 km/h beschleunigt und diese Geschwindigkeit mindesten 5 s konstant gehalten. Bei diesem Manöver sollte das Vario der Polare folgen, also am Anfang etwa 0,5 m/s und am Ende etwa 1,5 m/s anzeigen. Schlägt das Vario beim Anfang der Beschleunigung mehr als +0,5 m/s aus, ist es überkompensiert. Vergrößert sich die Anzeige beim Beschleunigen über -2 m/s, ist es unterkompensiert. Beim zweiten Manöver wird aus einem Geradeausflug mit 160 km/h binnen 5 s die Geschwindigkeit auf 100 km/h durch entsprechend dosiertes Hochziehen reduziert und dann 5 s konstant gehalten. Auch hier sollte die Varioanzeige der Polare folgen, also von -1,5 auf -0,5 m/s. Wenn beim Hochziehen die Varioanzeige vermehrtes Sinken anzeigt, ist das Vario überkompensiert. Und das Vario ist unterkompensiert, wenn die Anzeige über Null hinausgeht. Die Manöver sollten dreimal geflogen werden. Günstig dazu ist eine ruhige und thermiklose Luft am Abend oder Morgen.

Bild 1

Schema zum Einkreisen in thermischen Aufwind nach dem Geradeausflug
Das Beispiel zeigt den ungünstigen Fall zum Eintritt in die Thermik

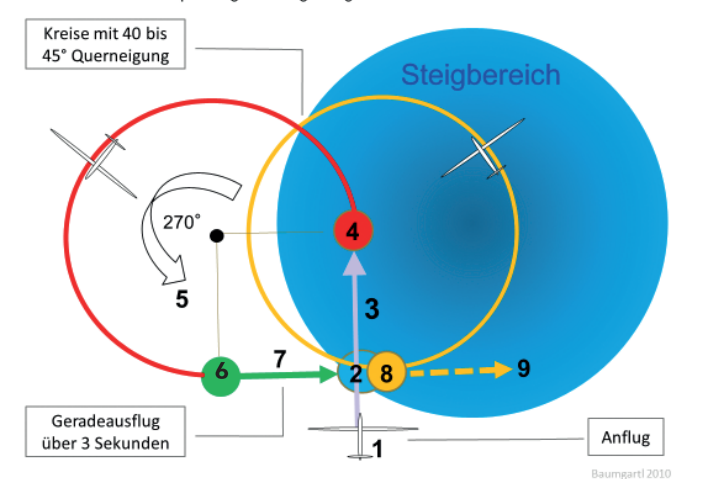
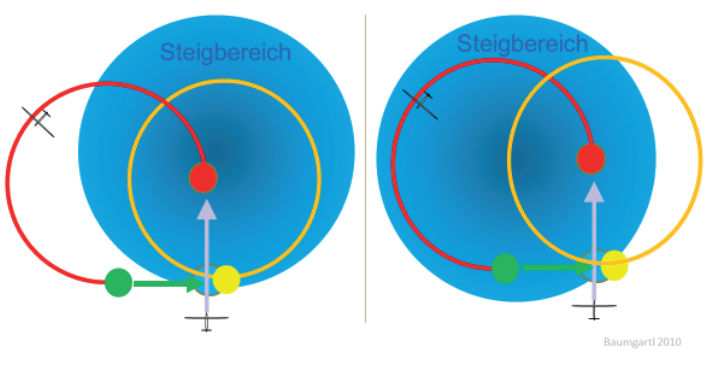


Bild 2

Schema zum Einkreisen in thermischen Aufwind nach dem Geradeausflug an unterschiedlichen Positionen (Variation zu Bild 1)



Im Folgenden sind die Punkte 1 bis 9 in Bild 1 beschrieben:

Punkt 1: Üblicherweise wird in die Thermik mit verschiedenen Geschwindigkeiten eingeflogen, die sich aus der Flugtaktik ergeben und in einem Bereich zwischen rund 100 und 200 km/h der Standardklasse liegen. Bei der Thermiksuche in niedriger Höhe wird sich die Geschwindigkeit um 100 km/h bewegen, bei Blauthermik kann sie bis 200 km/h betragen und bei Wolken thermik kann durch die optisch angezeigte Thermik die Geschwindigkeit angepasst werden.

Punkt 2: Wenn die Thermik gespürt wird, dann sollte binnen drei Sekunden, **Punkt 3**, weiter geradeaus geflogen werden und in dieser Zeit die Geschwindigkeit zum Einkreisen angepasst werden. Diese Geschwindigkeit ist abhängig von der Flugzeugpolare, Flächenbelastung und Querneigung (siehe **Kasten 1: Optimale Geschwindigkeit beim Kreisen**).

Punkt 4: An dieser Stelle wird sehr zügig mit Quer- und Seitenrudder und bei Erreichen der Querneigung von zwischen 40° und 45° (siehe **Kasten 2: Optimale Querneigung in der Thermik**) auch mit Höhenrudder Richtung Ziehen der Kreisflug eingeleitet. Durch Ziehen mit dem Höhenrudder wird das Einleiten der Drehgeschwindigkeit

beschleunigt. Das ist wichtig, um den Kreisdurchmesser nicht zu vergrößern. Die Methodik gilt natürlich für beide Kreisrichtungen. In der Segelfliegerwelt wird über die Richtung des Einkreisens diskutiert mit der Vorstellung, dass noch im Geradeausflugteil die beste Einkreisrichtung und somit die Position des ersten Kreises mit der optimalen Thermik erkannt wird. (Dazu siehe **Kasten 3: Entscheidung zur Einkreisrichtung**).

Punkt 5: Der bei **Punkt 4** eingeleitete Kreisflug wird über einen Winkelbereich von 270° fortgesetzt.

Punkt 6: Zügiges Ausleiten des Kreisfluges in den Geradeausflug, wenn sich das im **Punkt 4** gefundene Steigen signifikant verkleinert bzw. Sinken im letzten Halbkreis angetroffen wird, was der häufigste Fall ist. Die Richtung zum Ausleiten ist wichtig. Sie wird gefunden, indem vor dem Einleiten des Kreises, im Geradeausflugteil, rechtwinklig nach rechts, wie in diesem Schema, ein Punkt am Horizont fixiert wird. Eine andere Technik lässt sich mit Hilfe heute üblicher GPS-gestützter Navigationsgeräte anwenden (siehe **Kasten 4: GPS-gestütztes Ausleiten im Kreisflug**).

Wird das in **Punkt 4** angetroffene Steigen nicht signifikant kleiner, dann weiterkreisen und das Steigen durch Verlagerungstechnik maximieren.

Punkt 7: Geradeausflug über 3 Sekunden mit der Kreisgeschwindigkeit. Das entspricht näherungsweise dem Radius des vorher geflogenen Teilkreises.

Punkt 8: Einleiten zum Vollkreis (360°) mit 40° bis 45° Querneigung. Zügiges Ausleiten des Kreisfluges in den Geradeausflug, wenn sich das im Kreis angetroffene maximale Steigen signifikant verkleinert bzw. Sinken im letzten Halbkreis angetroffen wird, was bei dem zweiten Kreis weniger häufig gegenüber dem ersten Dreiviertelkreis ist. Die Richtung zum Ausleiten ist analog zum **Punkt 6**.

Wird das im Vollkreis angetroffene maximale Steigen nicht signifikant kleiner, dann weiterkreisen und das Steigen durch Verlagerungstechnik maximieren. Das integrierte Steigen über einen Vollkreis kann jetzt abgelesen werden, vorausgesetzt der Integrator ist auf eine Zeit um 20 Sekunden eingestellt, was zu der Zeit für einen Vollkreis bei 45° Querneigung passt. Entspricht das Steigen der Erwartung, dann weiterkreisen. Die Entscheidung zum Ausleiten und Weiterfliegen kann jeweils erst nach einem Vollkreis getroffen werden. Auch das ist ein Grund, den Integrator, als mittleres Steigen, für eine Zeit von 20 Sekunden einzustellen.

Punkt 9: Einen Geradeausflug über 3 Sekunden mit der Kreisgeschwindigkeit durchführen. Das entspricht näherungsweise dem Radius des vorher geflogenen Teilkreises. Dann erneut nach drei Sekunden wieder einkreisen. Wird auch nach einem dritten Kreis kein brauchbares Steigen angetroffen, ist der Geradeausflug fortzusetzen, weil die Wahrscheinlichkeit für einen brauchbaren Aufwind an dieser Position nur klein ist. Besteht kein Absaufrisiko, sollte nach dem zweiten Kreis weitergeflogen werden, wenn bei diesem kein brauchbares Steigen angetroffen wird.

Das Ausleiten zu Geradeausflug kann mit Hilfe der Steiringanzeige (siehe **Kasten 4: GPS-gestütztes Ausleiten im Kreisflug**) erfolgen. Ein weiteres „Absuchen“ der Position nach brauchbarer Thermik ist wenig sinnvoll, weil mit der hier beschriebenen Taktik die Position nach vier 90° zueinander liegenden Richtungen schon abgesucht wird. Mit Blick auf das Schema in **Bild 1** wurde das Gebiet im Süden bei Anflug durchflogen, dann mit den Kreisverlagerungen von West nach Ost und beim Weiterflug nach Norden. Sollte sich beim Weiterflug brauchbare Thermik zeigen, ist die dieselbe Prozedur durchzuführen wie bei der gerade verlassenen Position.

Referenz: Walter Georgii, Flugmeteorologie, 1938

Hinweis:
Dieser Artikel kann auf der Homepage des AEROCLUB | NRW/ Segelflug, abgerufen werden.

Kasten 1

Optimale Geschwindigkeit beim Kreisen

Die Basis für Kreisgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit des Flugzeuges für das geringste Sinken. Sie kann aus der Polare entnommen werden und erstreckt sich in den meisten Fällen über einen Geschwindigkeitsbereich. In der Polare, **Bild 4**, reicht dieser Bereich von 77 bis 90 km/h bei einem Flugzeug der Standardklasse mit einer Flächenbelastung von 40 kg/m². Dieser Geschwindigkeitsbereich kann auch von jedem bei ruhiger Luft erfliegen werden. Natürlich sollte dabei die im Handbuch angegebene Differenz zwischen der TAS und IAS berücksichtigt werden. Bekanntlich muss im Kreisflug die Geschwindigkeit entsprechend der Querneigung erhöht werden. Dazu gibt die Tabelle mit einem Faktor Auskunft, um den die Geschwindigkeit zu erhöhen ist. Die Tabelle, unten, folgt der Gleichung: Quadratwurzel aus dem Kehrwert des Kosinus der Querneigung bei Kreisen.

$$\text{Faktor für Geschwindigkeitserhöhung} = \sqrt{1 / \cos(\text{Querneigung Grad})}$$

Querneigung in Grad im Kreisflug	0	35	45	60
Faktor für Geschwindigkeitserhöhung	0	1,1	1,2	1,4

Daraus ist zum Beispiel zu entnehmen, dass bei einer Querneigung von 45° mit einer Geschwindigkeit zwischen 92 und 108 km/h gekreist werden muss, wobei wegen des kleineren Kreisdurchmessers 92 km/h anzustreben ist.

Ist die Flächenbelastung z. B. durch Wasserballast oder großes Pilotengewicht größer, dann erhöht sich die Kreisgeschwindigkeit um einen weiteren Faktor, der folgender Gleichung folgt: Quadratwurzel aus dem Quotienten der Flächenbelastung, wie sie als Polare erfliegen wurde, dividiert durch die Flächenbelastung des betrachteten Flugzeuges am Boden. Zum Beispiel müsste bei 50 kg/m² Flächenbelastung die Geschwindigkeit um einen weiteren Faktor 1,12, also zwischen 107 und 120 km/h, erhöht werden. Mit diesen beiden Faktoren und der Kenntnis der Geschwindigkeit für das minimale Sinken kann die optimale Geschwindigkeit schon am Boden ermittelt werden. Das übliche und oft langwierige „Erfliegen“ bleibt erspart. Ganz davon abgesehen, dass die beim „Erfliegen“ gemachten Erkenntnisse falsch sein können.

Kasten 2

Die optimale Querneigung beim Thermikkreisen liegt zwischen 40° und 45° und wurde mit Hilfe der Kreisflugpolare von Segelflugzeugen und dem Gradienten von Thermikaufwinden errechnet. Der Thermikgradient beschreibt die Verringerung der Stärke eines Aufwindes von der Mitte zum Rand und wurde durch zahlreiche Messflüge ermittelt. Die errechnete optimale Querneigung bestätigt die aus der Flugpraxis gewonnenen Erfahrungen,

wozu zentrale Wettbewerbe als Leistungsvergleich beitragen. Dennoch besteht der Eindruck, dass in vielen Fällen nur mit einer Querneigung von etwa 35° Grad gekreist wird. Die Zeit für einen Kreis beträgt bei 45° Querneigung rund 20 Sekunden und bei 35° rund 30 Sekunden. Die Kreiszeiten sind eine Hilfe zur Selbstkontrolle.

Kasten 3

Einkreisrichtung links oder rechts? Das ist die Frage, die gestellt werden kann.

Aber sollte sie überhaupt während des Fluges jeweils gestellt und entschieden werden? Die Frage geht hervor aus dem Gefühl, dass schon beim Einflug in die Thermik die optimale Richtung beim Einkreisen vorausgesagt werden kann, dass dieser erste Kreis in der vorausgesagten Richtung besseres Steigen bringt. Die Prognose basiert auf der Beobachtung, dass beim Einflug in die Thermik bisweilen das eine oder andere Flächenende angehoben wird, also ein Moment um die Längsachse des Flugzeuges auftritt. Statistisch gesehen ergibt sich die optimale Kreisrichtung zu 50 % Wahrscheinlichkeit für beide Richtungen. Falls das Anheben eines Flächenendes ein brauchbares Signal ist, die optimale Kreisrichtung zu bestimmen, dann müsste mit dieser Hilfe in mehr als 50 % der Fälle die optimale Kreisrichtung eingenommen werden. Dazu ist eine experimentell belegte Auswertung dem Autor nicht bekannt. Anders sind die Aussagen von Meinungen und Erzählungen, nach denen das Heben des Flächenendes ein Indiz für die optimale Kreisrichtung ist. Dominiert bei dieser Haltung nicht die Erwartung, das Richtige zu tun? Werden dabei nicht die erwarteten positiv eingetretenen Fälle emotionell aufgenommen, zumal sie ohnehin 50 % einnehmen, und die nicht erwarteten negativen Fälle fallen durch ein Sieb?

Antwort kann die Psychologie mit der Liste der kognitiven Verzerrungen geben, die systematische fehlerhafte Neigungen beim Wahrnehmen, Erinnern, Denken und Urteilen beschreibt. Sie bleibt meist unbewusst und basiert auf kognitiven Heuristiken (Wikipedia). Im vorliegenden Falle kann auf den Confirmation Bias, den Bestätigungsfehler, hingewiesen werden – also auf die Neigung, Informationen so auszuwählen und zu interpretieren, dass sie die eigenen Erwartungen erfüllen. Oder auf den Belief-Bias, auch Überzeugungsbias, mit der Tendenz zu glaubwürdigen Schlussfolgerungen, unabhängig davon, ob sie logisch korrekt sind.

Mit zwei vorliegenden Experimenten kann die hier gestellte Frage beantwortet werden. Ein Pilot (Mitglied der deutschen Nationalmannschaft) meinte, dass er die optimale Richtung vor dem Einkreisen erkennt. An einem Trainingstag in Spanien flog er allein bei Blauthermik mit einer Basis von rund 2000 m AGL einen Dreiecksflug über 500 km in sechs Stunden. Dabei benutzte er nach GPS-Logger-Auswertung 20 Aufwinde. Bei 19 Aufwinden

kreiste er nach rechts ein. Der statistischen Wahrscheinlichkeit folgend hätte die Anzahl der eingeschlagenen Kreisrichtungen zu beiden Seiten etwa gleich sein müssen. Auf diese Fakten angesprochen, meinte der davon überraschte Pilot, dass er am liebsten rechtsherum kreist. In Ergänzung zu diesem nicht einzigen Experiment zeigte die Teamflugtaktik zweier Piloten einer im Teamflug sehr erfahrenen Nation, dass sie einer vorher bestimmten Kreisrichtung nicht trauten und jeweils gleichzeitig in entgegengesetzte Richtungen einkreisten.

Aus der Struktur eines Aufwindes lässt sich kaum ableiten, dass die optimale Kreisrichtung für den ersten Kreis durch das Anheben eines Flächenendes vorauszusagen ist (Bild 3). Thermische Aufwinde bestehen aus turbulenter Luft über eine Fläche mit einem idealisierten Durchmesser zwischen einem und drei Kilometern in den wohl meisten Fällen. Die Turbulenzen bewirken das Anheben des Flächenendes; aber nicht der Steiggradient, der im Allgemeinen mit 1 cm/s pro Meter Radius angenommen wird. Bei einer Spannweite des Segelflugzeuges von 15 Metern beträgt der Unterschied an den Flächenenden 0,15 m/s, integriert über den Auftrieb der gesamten Flächen gerechnet ist es eine Größenordnung weniger. Demzufolge wird das merkbare Anheben einer Flächenspitze durch Turbulenz bewirkt. Aber ein so spürbares, sich aufwärts bewegendes Turbulenzpaket hat in der Regel keinen geeignet großen Durchmesser von mehr als 200 m, in dem sich ein modernes Segelflugzeug kreisend aufhalten könnte. Zudem reicht die Lebenszeit der Turbulenzpakete nicht aus, um damit erwünschte Höhengewinne zu erreichen.

In Zusammenhang mit der Kreisrichtung im Aufwind wird mancherseits die Corioliskraft erwähnt. Sie soll bewirken, dass die Aufwinde linksherum rotieren, so wird postuliert. Daraus wird gefolgert generell Rechtskreise zu fliegen, damit den Kreisdurchmesser zu verringern und somit das Steigen zu vergrößern.

Als Fazit zur Einkreisrichtung ist festzustellen, dass es keine Kriterien gib, nach denen eine optimale Richtung vorauszusagen ist. Egal in welche Richtung eingekreist wird, mit der hier beschriebenen Methode wird in kürzester Zeit die optimale Kreisbahn in einem Aufwind gefunden.

