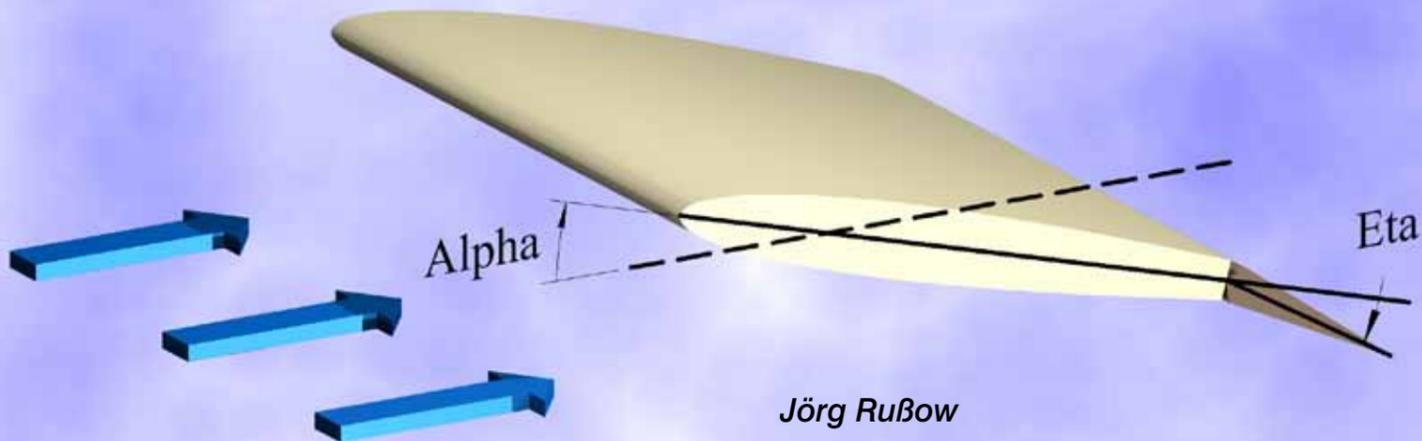


Was EWD und Schwerpunkt bewirken – und was nicht



Jörg Rußow

Mythos EWD

Kaum ein anderes Thema aus dem Bereich Flugphysik und Flugmechanik wird unter Modellfliegern auf den Plätzen und im Internet so ausgiebig diskutiert wie die (richtige) Schwerpunktlage und was damit zusammenhängt. Inzwischen sind mehrere PC-Programme verfügbar, die dem interessierten Modellflieger den Weg zum sinnvollen Schwerpunktbereich weisen, und manche geben auch Hinweise auf die einzustellende Einstellwinkeldifferenz (EWD). Dabei wird gelegentlich der Eindruck erweckt, beide Werte – also SP-Lage einerseits und EWD andererseits – hätten die gleiche Relevanz für die Flugeigenschaften. Um genau dieses Missverständnis geht es nachfolgend.

Um einen aus Flugeigenschaftssicht sinnvollen SP-Bereich zu ermitteln, bedient man sich am besten des PCs. Ausgerüstet mit der richtigen Software lässt sich das in wenigen Sekunden ausrechnen, wenngleich das Ausmessen der Geometrie des Flugmodells, je nach Komplexität, eine Weile dauern kann. Aus der Zusammenarbeit von Dietrich Meissner und dem Autor stammt eins dieser Längsstabilitätsprogramme; es ist in der Windows-Version als WinLaengs4 frei erhältlich und kann jeweils in der aktuellen Version von Dietrich Meissners Homepage http://home.arcor.de/d_meissner/schwerp.htm oder direkt auf der Seite des Neckar-Verlags unter www.neckarverlag.de geladen werden.

WinLaengs4 berechnet aus der Geometrie des Modells den Neutralpunkt (NP) und schlägt dann einen sinnvollen Bereich für die Lage des Schwerpunkts, relativ zu diesem NP, vor. Bekanntlich muss der SP vor dem NP liegen, um die statische Längsstabilität (d. h. Anstellwinkelstabilität) sicherzustellen. Bei (zu



Hallo Herr Rußow,
ich habe da mal eine Frage an Sie.
Ich habe den Schwerpunkt eines »Bergfalke Mü 13e« mit WinLaengs4 berechnet. Ich nehme an, dass das Programm auch mit vorgepfeilten Tragflächen zurechtkommt.

Jetzt stellt sich noch die Frage, welche EWD eingestellt werden soll. Momentan sind 2,4° EWD auf der »Mü 13e«, das scheint mir ein wenig zu viel. Der Vorbesitzer meinte auch, dass der »Bergfalke« sehr »stumpf« fliegt. Ich würde die EWD auf 1,5° zurücknehmen und für den Erstflug den Schwerpunkt auf eine Stabilität bei 12% einstellen. Für die 12% habe ich 600 g Blei aus dem »Bergfalken« genommen, das irritiert mich nun doch ein wenig.

Nun meine Frage an Sie: Der Schwerpunkt ist doch von der EWD abhängig? Wie kann ich den Schwerpunkt ohne Eingabe der EWD berechnen? Setzt das Programm einen Standardwert fest oder kann ich die EWD auch eingeben?

Im Voraus schon mal besten Dank.

Fredi Flieger

wenig statischer Längsstabilität lässt sich das Modell nicht sauber fliegen und man hat u. a. Probleme mit einem „Eierflug“ oder mit unterschneiden im Schnellflug.

Ein (zu) hohes Stabilitätsmaß ist allerdings auch nicht so toll. Zwar führt es zu einem schnellen Ausgleich des Anstellwinkelfehlers, aber auch zu einer (zu) schlechten dynamischen Stabilität, denn die Größen „Bahnwinkel“, „Längslage“ und „Geschwindigkeit“ sind auch noch da. Bis sich die Chose wieder beruhigt hat, dauert es eine Weile. Das kann zum „Pumpen“ führen, zumindest bei einem Thermiksegler. Ergo sucht man sich eine SP-Lage im mittleren Bereich, bei der man die Flugeigenschaften subjektiv am besten findet.

Noch einmal zur Erinnerung: Die SP-Lage bestimmt die Flugeigenschaften und beeinflusst die Trimmung des Flugzustands, die EWD dagegen dient lediglich zur Trimmung. Die SP-Lage ist daher nach Flugeigenschaftskriterien zu wählen, denn die Trimmung kann man anschließend immer noch über die EWD oder ersatzweise durch einen Höhenruderausschlag in Ordnung bringen. Dazu später mehr.

WinLaengs4 schlägt also einen SP-Bereich vor, macht aber keinerlei Aussage über die einzustellende EWD. In welcher Form, das zeigt eine typische Zuschrift, basierend auf einer „true story“!

Für jede Frage eine Antwort

Gehen wir diese Anfrage einmal Stück für Stück durch.

Zitat: Ich habe den Schwerpunkt eines »Bergfalke Mü 13e« mit WinLaengs4 berechnet. Ich nehme an, dass das Programm auch mit vorgepfeilten Tragflächen zurechtkommt.

Antwort: Pfeilungen werden bei WinLaengs4 berücksichtigt, ebenso wie der Einfluss der Zuspitzung und alle anderen relevanten geometrischen Größen. Es gibt ein paar Einschränkungen bei kleinen Reynolds-Zahlen; das spielt in diesem Fall aber keine Rolle.

Zitat: Jetzt stellt sich noch die Frage, welche EWD eingestellt werden soll. Momentan sind 2,4° EWD auf der »Mü 13e«, das scheint mir ein wenig zu viel. Der Vorbesitzer meinte auch, dass der Bergfalke sehr »stumpf« fliegt. Ich würde die EWD auf 1,5° zurücknehmen und für den Erstflug den Schwerpunkt auf eine Stabilität bei 12% einstellen. Für die 12% habe ich 600 g Blei aus dem »Bergfalken« genommen, das irritiert mich nun doch ein wenig.

Antwort: Nun, bei vielen Seglern ist laut Plan der SP ziemlich weit vorne ausgewiesen, ohne dass das wirklich so sein muss. Das Programm WinLaengs4 stellt (bei richtiger Anwendung) sicher, dass die SP-Lage und damit die Längsstabilität in einem sinnvollen Bereich liegt. Bei Verwendung der Automatik in WinLaengs4 wird ein Bereich von 8 bis 16% Stabilität empfohlen, da liegen die von Ihnen gewählten 12% mittendrin. Mit einer SP-Lage in diesem Bereich muss das Modell auf jeden Fall vernünftig fliegen. So würde ich auch anfangen und anschließend stufenweise weiter mit dem SP nach hin-

ten gehen, bis sich die Flugeigenschaften subjektiv verschlechtern. Ich habe noch nie den Fall gehabt, dass ein RC-Segler bei mehr als 12% Längsstabilität am besten flog, aber durchaus den Fall, dass die Flugeigenschaften bei weniger als 10% subjektiv als optimal empfunden wurden.

Zitat: Nun meine Frage an Sie. Der Schwerpunkt ist doch von der EWD abhängig?

Antwort: Nun, es ist andersherum. Die SP-Lage (relativ zum NP) bestimmt die Längsstabilität. Das ist der wichtige Wert, nicht die EWD! Bei Ihrer Aussage wackelt der Schwanz mit dem Hund!

Die EWD brauchen wir nur zum Austrimmen auf die gewünschte Flugeschwindigkeit (bzw. den Anstellwinkel und damit den CA-Wert). Abhängig davon, welche SP-Lage man wählt, muss man die EWD anpassen. Bei vorderer SP-Lage (15 bis 25% Stabilität) braucht man mehr EWD als bei hinterer (2 bis 10%), damit das Modell auf die gleiche Geschwindigkeit ausgetrimmt ist. Die EWD ist also von der gewählten SP-Lage abhängig. Man passt sie einfach an, wie man es braucht.

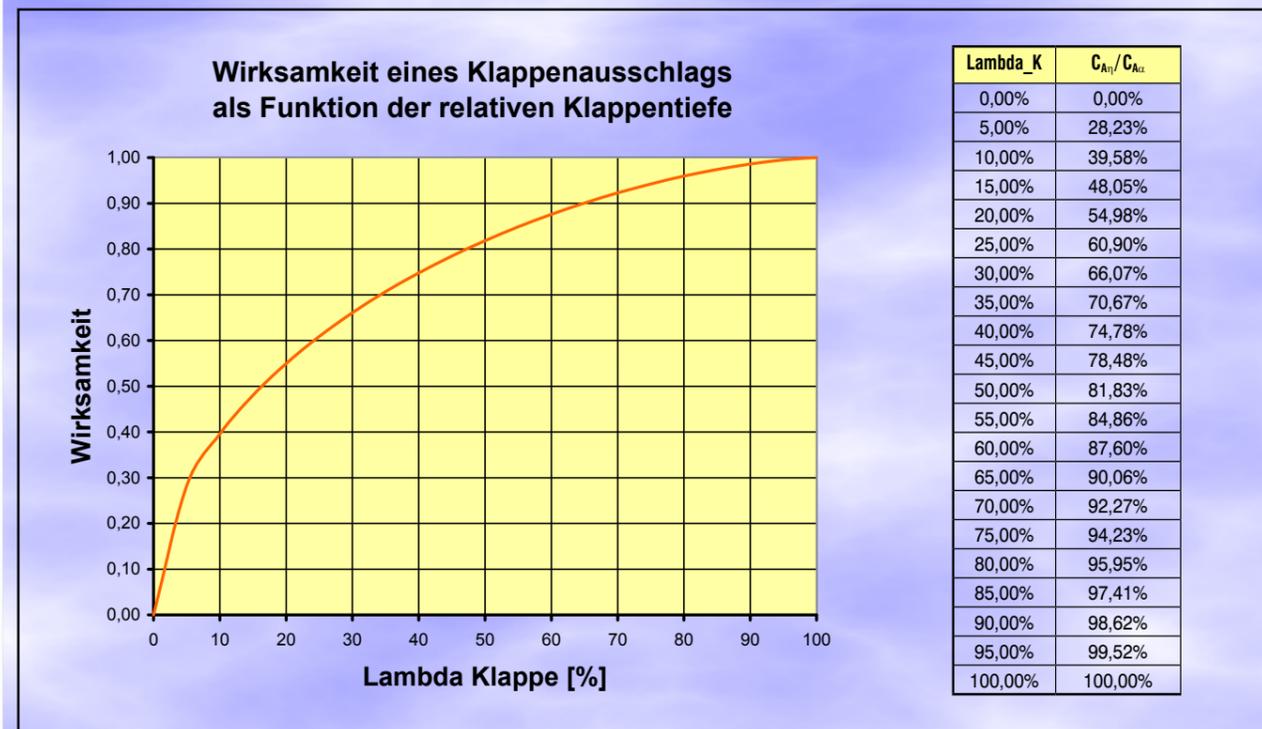
Zitat: Wie kann ich den Schwerpunkt ohne Eingabe der EWD berechnen? Setzt das Programm einen Standardwert fest oder kann ich die EWD auch eingeben?

Antwort: Weder noch, es ist keinerlei Vorgabe der EWD erforderlich, um den sinnvollen SP-Bereich abzuschätzen. Welche EWD das Modell wirklich braucht, stellen Sie am besten beim Einfliegen fest. Wenn die EWD nicht stimmt, müssen Sie beim Erstflug nach dem Abheben bzw. Handstart gleich mal zur Höhentrimmung greifen. Nach dem Eintrimmen steht das Ruder nicht mehr gerade. Falls das nur wenig ist, könnte man das auch so lassen. Bei größeren Abweichungen des Klappenwinkels von Neutral wird man den Einstellwinkel der Höhenflosse (oder des Flügels) korrigieren, sodass die Höhenruderklappe im Normalflugfall wieder auf Neutral steht. Eine EWD-Anpassung sollte man aber erst machen, nachdem man sich auf eine SP-Lage festgelegt hat! Die Größe der EWD in Grad ist eigentlich völlig egal! Wenn der »Bergfalke« „stumpf“ fliegt, dann nicht wegen einer falschen EWD, sondern wegen einer falschen (vermutlich zu weit vorne liegenden) SP-Lage.

Die Hintergründe

So weit zu den Fragen des Anwenders des Längsstabilitätsprogramms WinLaengs4 und den gegebenen Antworten. Das Programm beschäftigt sich ausschließlich mit der Frage der Längsstabilität und nicht mit Fragen der Trimmbarkeit; Letztere wird vorausgesetzt.

Für die Berechnung der „richtigen“ EWD bzw. der Trimmbedingung wären zusätzliche Eingabegrößen erforderlich: das C_{m0} der Flügel- und HLW-Profilen und die Verwindungen oder Profilverläufe der Flügel. Das zu ermitteln ist deutlich aufwändiger als die Größen für die NP-Bestimmung. In WinLaengs4 ist konsequent

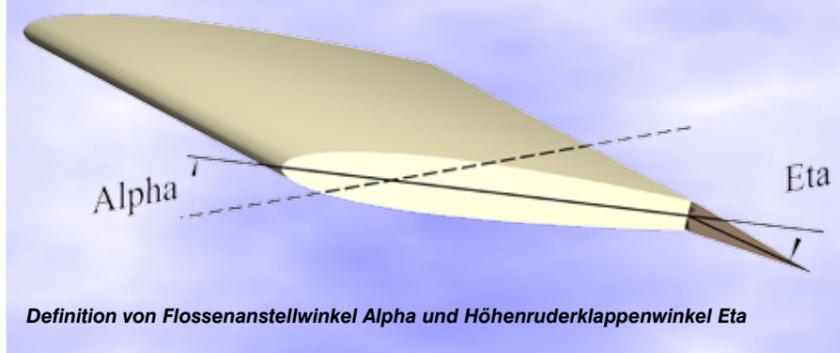


alles weggelassen, was nur Einfluss auf die Trimmung hat. Die Stabilität steht im Vordergrund.

Nun ist zwar die SP-Lage entscheidend für die Flugeigenschaften, trotzdem – es gibt zwei rein praktische Gründe, warum man die richtige EWD gerne vor dem Einfliegen wissen und in das Modell einbauen will. Hier soll am Beispiel einer zu groß gewählten EWD besprochen werden, was das für Auswirkungen hat; entsprechend andersherum verhält es sich bei zu kleiner EWD.

1. Bei zu großer EWD (für die gewählte SP-Lage) wird das Modell gleich beim Abheben oder Wegwerfen auf „Hoch“ weggehen und benötigt einen – je nach Größe des EWD-Fehlers – beherrzten Eingriff des Piloten in Richtung „drücken“. Anschließend wird man den Trimmschieber bemühen und das Höhenruder des ausgetrimmten Modells dauerhaft in Richtung „Tief“ verstellen. Eine richtige EWD vereinfacht also das Einfliegen, weil weniger gesteuert und getrimmt werden muss; und das schon die Nerven.
2. Das Höhenruder steht nach dem Einfliegen auf „Tief“; das ist auf jeden Fall ein Schönheitsfehler. Einfluss auf die Flugeigenschaften hat das zunächst nicht.

Nur wenn die EWD (zufällig) genau stimmt, wird das Höhenruder nach dem Einfliegen immer noch exakt gerade stehen. Bei habhaften Abweichungen von der Nullstellung könnte man bestrebt sein, die EWD anzupassen. Aus der folgenden Formel kann man näherungsweise ermitteln, um wie viel die Flosse verstellt werden muss, um den Ausschlag des Höhenruders zu kompensieren:



$$\frac{C_{A\eta}}{C_{A\alpha}} = \frac{\arcsin \sqrt{\lambda_k} + \sqrt{\lambda_k + (1 - \lambda_k)}}{\arcsin(1)}$$

Dabei sind α = Anstellwinkel der Flosse, η = Ausschlagwinkel der Klappe und λ_k = relative Klappentiefe. Die meisten relativen Klappentiefen λ_k betragen 0,2 bis 0,5 bzw. 20 bis 50%. Ein λ_k von 1 bzw. 100% bedeutet ein Pendelruder.

Ein Pendelruder bzw. eine Verstellung der Flosse (mit daran befestigtem Ruder) ist, bezogen auf den gleichen Ausschlagwinkel, am wirksamsten. Andererseits hat ein Höhenleitwerk mit einer Ruderklappe von nur 16% relativer Tiefe bereits eine Wirksamkeit von 50% verglichen mit einem Pendelruder gleichen Verstellwinkels.

Betrachten wir die Sache doch etwas genauer und sehen uns die Verhältnisse bei einem praxisnäheren Klappenverhältnis von $\lambda_k = 0,3 = 30\%$ an. Das HLW besteht also aus Höhenflosse und Höhenruder im Verhältnis 70 zu 30% der

Tiefe des Höhenleitwerks. Hier beträgt die Wirksamkeit bereits 66% von der eines Pendelruders mit gleichem Ausschlagwinkel, ebenfalls aus der Tabelle zu ersehen.

Was will uns das sagen?

Wäre die EWD dieses Modells beispielsweise um 1° zu groß (also in Richtung „ziehen“), muss man das durch einen entgegengesetzten Höhenruderausschlag von $1^\circ/0,66 = 1,5^\circ$ in Richtung „drücken“ kompensieren. Entsprechendes gilt im umgekehrten Fall: Wäre die EWD um 1° zu klein, braucht man $1,5^\circ$ Klappenausschlag in Richtung „ziehen“.

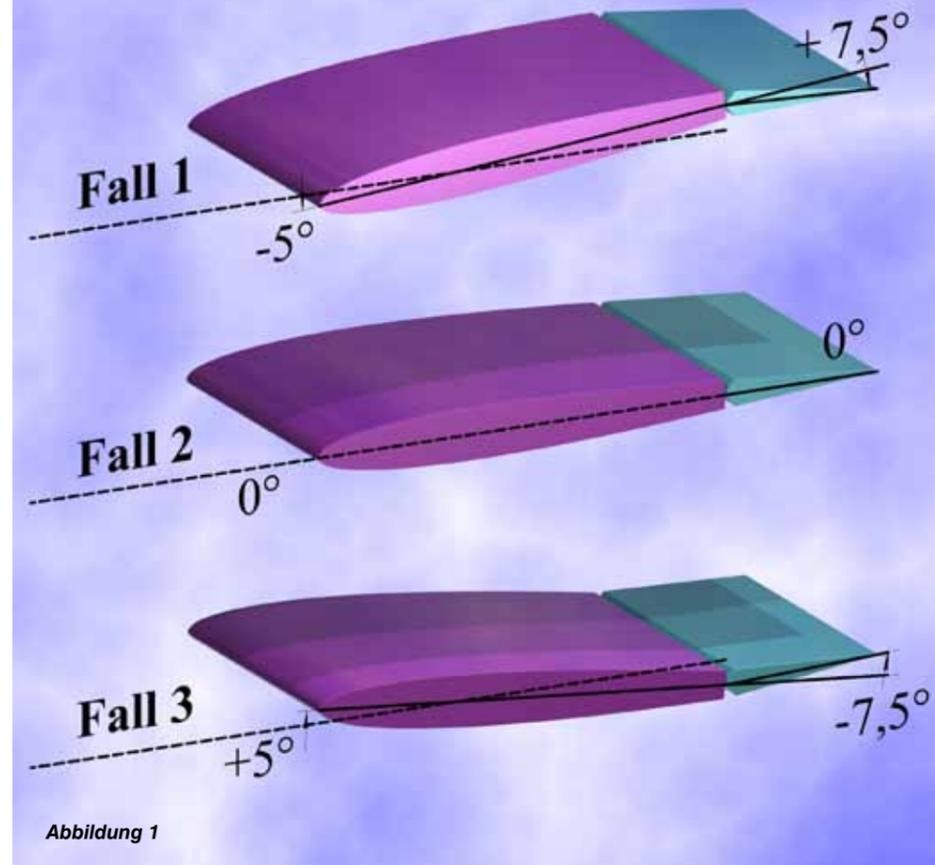
Dieser Zusammenhang zwischen EWD bzw. Flosseneinstellung und Höhenruder(trim)m-ausschlag ist in folgenden Bildern dargestellt. Es handelt sich um ein und dasselbe Höhenleitwerk, bei dem die Höhenflosse mit drei verschiedenen Einstellwinkeln angebaut ist. Damit man das im Bild gut sichtbar darstellen kann, sind die Winkel um den Faktor 5 vergrößert gewählt.

Beim ersten Fall ist der Einstellwinkel um 5° zu klein und damit die EWD um eben diesen Betrag zu groß, beim zweiten ist es gerade richtig und beim dritten ist die EWD 5° zu klein. Bei dem HLW mit „falscher“ Einstellung muss die Wirkung der Flosse durch einen gegensätzlichen Ausschlag des Ruders kompensiert werden, in diesem Fall ein Betrag von $7,5^\circ$. Dadurch wird von allen drei HLWs die gleiche Auftriebskraft erzeugt und diese ergibt mit dem Hebelarm zum SP ein Nickmoment.

Anmerkung: Der kleine Anteil des HLW-Nullmoments beim Klappenausschlag ist hier vernachlässigt; es wird davon ausgegangen, dass das vom HLW erzeugte Nickmoment nur aus dem Auftrieb des HLWs resultiert. Der von den drei unterschiedlich eingestellten HLWs erzeugte Auftrieb muss auch nicht notwendigerweise null sein. Wichtig ist nur, dass in allen drei Fällen die gleiche Auftriebskraft erzeugt wird.

Das einzige sinnvolle Kriterium dafür, ob die gewählte und eingebaute EWD „richtig“ oder „falsch“ gewählt wurde, ist die Abweichung der Trimmstellung des Höhenruders von der Neutralstellung! Selbstverständlich ist ein Beispiel mit 1° realistischer als die für die Abbildung 1 gewählten 5° Fehlwinkel der EWD. Und der für diesen kleineren EWD-Fehler von 1° ermittelte Höhenruderausschlag von $1,5^\circ$ ist nicht in einer Größenordnung, dass man ihn unbedingt durch eine Verstellung der Flosse eliminieren muss! Nur eine grob falsche EWD würde sich in den Flugeigenschaften bemerkbar machen, weil das Ruder bereits für den Normalflug recht weit ausgeschlagen ist. Dann ist mit erhöhtem Widerstand zu rechnen, vor allem aber könnte das HLW nicht mehr in der Lage sein, die erforderlichen Auf- und Abtriebe zu liefern, wenn man es zusätzlich in dieser Richtung weiter ausschlägt. Es könnte überziehen. Bei Höhenruderausschlägen wegen falscher EWD in der Größe von einem oder zwei Grad tritt dieser Fall nicht ein.

Ein so verstelltes HLW ist vergleichbar mit einer Tragfläche, die nur mit ausgeschlagenen Querrudern geradeaus fliegen will. Sie hat einen Verzug und/oder die Flächenhälften haben unterschiedliche Einstellwinkel. Auch hier wird man bestrebt sein, den Verzug zu beseitigen, um die Querruder wieder auf Neutral zu bringen, falls sie deutlich ausgeschlagen werden müssen. Ausschläge in Größe der Hinterkantendicke des Ruders sind nicht von Bedeutung. In dieser Größen-



ordnung ändert sich bereits die Höhenruderstellung, wenn man bei einem Segler von der Fahrt des geringsten Sinkens auf die Fahrt des besten Gleitens umtrimmt – ganz zu schweigen von einer Trimmung für den Schnellflug. Nur in einem Betriebspunkt kann das Ruder wirklich auf null stehen, in den anderen ist es leicht ausgeschlagen. Man könnte eine Philosophiefrage daraus machen, bei welchem Betriebspunkt das der Fall sein sollte.

Völlig unsinnig wäre es allerdings, die SP-Lage zu verändern, damit diese zur (möglicherweise falschen, sprich ungeschickt gewählten) EWD passend gemacht wird. Wie bereits bei der Anwen- derfrage gesagt: Da wackelt der Schwanz mit dem Hund. Die SP-Lage bestimmt die Flugeigenschaften und beeinflusst die Trimmung, die EWD dient lediglich zur Trimmung. Die SP-Lage ist daher nach Flugeigenschaftskriterien zu wählen.

Oft hört man Aussagen wie: „Ich musste im Rückenflug nur wenig drücken, also ist die gewählte EWD korrekt.“

Was man sagen sollte, ist: „Ich musste im Rückenflug nur wenig drücken, folglich habe ich keinen unnötig weit vorne liegenden SP gewählt.“

Also, weisen wir der EWD den richtigen Stellenwert zu und dichten ihr keinen Einfluss auf die Flugeigenschaften an.

Zum Schluss

sei noch eine Bemerkung zu einem Artikel von Gerd Wöbbeking in FMT 6/2007 erlaubt. Dort wurde (neben einigen anderen Dingen) behauptet, WinLaengs4 sei nur für symmetrische Höhenleitwerksprofile geeignet. Nun, das ist falsch! Die Wölbung der Profile an Flügel und HLW sind für die NP-Berechnung unwichtig, solange es sich um sinnvolle Profile eingesetzt in einem sinnvollen Re-Zahlbereich handelt. Nur bei kleinen Re-Zahlen, wie sie bei Saal- und kleineren Freiflugmodellen vorkommen, wird die Genauigkeit der Berechnung abnehmen. Für den „normalen“ RC-Bereich spielt das keine Rolle.