

16. Fragen und Antworten (F&A)

F: Was ist der Sinn und Zweck eines solchen Flugzeuges?

A: Der Sinn ist Antworten auf Fragen zu erhalten die sonst nie gestellt würden und der Zweck ist ein Flugzeug zu konstruieren das senkrecht fallend kontrolliert landen kann. Nach einem Motorenausfall oder sonst einem verursachten Strömungsabriss kann dieses Flugzeug aus jeder Höhe schadlos landen.

- - - -

F: Senkrechte Landungen machen UL-Flieger in Notlage auch, die Sunny (ein Boxwing-Flugzeug) geht nach einem Strömungsabriss eigenstabil wieder in den Normalflug über und die Fieseler Storch kann ebenfalls fast auf den Punkt genau landen. Worin besteht also die Innovation?

A: Der Fallflieger vereint alle die erwähnten Eigenschaften auf ein Flugzeug und ist auch im Fallflug lenkbar. Dazu kommt, dass der Fallflieger auch aus einer Rückenlage wieder selbstständig in die Bauchlage zurück dreht.

- - - -

F: Warum liegt das Heckleitwerk im Propellerwind?

A: Wenn das Höhenleitwerk im Fallflug kurz vor dem aufsetzen am Boden angeblasen wird kann das Flugzeug in eine Neigung gebracht werden die eine „Power-On-Stall“ Landung ermöglicht. Damit wird die Aufsetzgeschwindigkeit reduziert. Das Seitenleitwerk kommt nur in den Propellerwind wenn dieses ausgestellt wird und dient dazu das Flugzeug auch kurz vor dem Aufsetzen noch drehen zu können.

- - - -

F: Warum hat dieses Flugzeug ein S-Schlagprofil (Reflexprofil)?

A: Flügel mit einem S-Schlagprofil sind (eher) Druckpunktfest und dazu eigenstabil. Dadurch kann die Flugzeuglänge reduziert werden (Abstand Schwerpunkt zu HLW). Im Weiteren wird durch diese Flügelform die Flügelstabilität erhöht.

- - - -

F: Warum hat das Flugzeug ein separates Höhenleitwerk wenn doch schon der Flügel eigenstabil ist (dies ist die Eigenart von S-Schlagprofilen, resp. von Reflexflügel)?

A: Der Flügel hat nicht über die ganze Flügelspannweite ein S-Schlagprofil. Dazu kommt, dass Querruderausschläge die Eigenstabilität aufheben können. Ein Einfluss auf die Eigenstabilität hat zudem die ungewöhnliche Distanz vom Flügel (Druckpunkt) zur Kabine (Schwerpunkt). Dies erfordert einen längeren Hebelarm zum Höhenleitwerk. Dasselbe gilt für das Seitenleitwerk wegen der grossen Flügelspannweite und dem resultierenden Drehwiderstand in der Hochachse.

- - - -

F: Warum ist der Flügel aerodynamisch geschränkt (Profilstrak) und geometrisch geschränkt (Verwindung)?

A: Dies ist eine sehr komplexe Frage und löst selbst bei Aerodynamikern immer wieder Kontroversen aus. Allgemein kann angenommen werden, dass der optimale Auftrieb mit geringstem Widerstand durch das Kombinieren von Profilen erreicht wird, nämlich an der Wurzel ein Laminarprofil, am Aussenflügel ein semilaminarprofil und am Randbogen ein turbulentes Profil. Im vorliegenden Fall wird aber nicht optimaler Auftrieb angestrebt, sondern wenig Auftrieb mit kleinstmöglichem Widerstand. Zudem muss die grosse Flügelfläche und die grosse Flügelspannweite berücksichtigt werden. Das heisst, um die vom HLW ausgehenden Verwindungskräfte möglichst gering zu halten, sollte der Druckpunkt bei allen Flugmanövern möglichst stabil über dem Schwerpunkt stehen. Damit wird u.A. die Wahl für das S-Schlagprofil begründet. Um nur wenig Auftrieb zu erhalten ist das S-Schlagprofil nur wurzelseitig eingesetzt. Dies erfordert an den Flügelenden ein auftriebsneutrales (symmetrisches) Profil und führt zum Profilstrak. Im Weiteren kann das an den Flügelenden symmetrische Profil als ein flach gelegtes Winglet betrachtet werden. Zugleich ist dieses Profil der Übergang zum Randbogen, der in Sichelform ausgeführt die Flügel V-Form unterstützt. Abgesehen davon, dass ein Profilstrak fast unausweichlich eine Flügelverwindung nach sich zieht, und umgekehrt (so die Aerodynamiker), verzögert die vorliegende Verwindung den Strömungsabriss am Flügelende. Beim Modellflugzeug, mit dem bewusst höheren Anstellwinkel, ist dies wegen den tiefer liegenden kritischen Re-Zahlen besonders wichtig.

- - - -

F: Der Fallflieger setzt mit einer Fallgeschwindigkeit von 7 m/s (25 km/h) auf. Verursacht dies nicht eine zu grosse Beanspruchung von Mensch und Maschine?

A: 7 m/s ist die Geschwindigkeit diverser Notfallschirmsysteme. Beim Fallflieger wird diese Geschwindigkeit innerhalb von mindestens 1,2 Meter möglichst gleichmässig abgebremst. Die Abbremsung auf 0 m/s erfolgt mit der „Schubumkehr“ am Rotor.

- - - -

F: Die Seitenleitwerksachse steht nicht rechtwinklig zum Rumpf. Womit wird dies begründet?

A: Durch die grosse Flügelspannweite und dem Abstand vom Flügel zum Schwerpunkt entsteht mit dem Ausschlagen der Seitenruder ein in Längsrichtung nach Aussen gerichteter Verwindungsdruck. Die schräg gestellte Seitenleitwerksachse bewirkt, dass mit dem Ausschlagen vom Seitenleitwerk das Drehmoment nicht nur in der Hochachse ansetzt sondern auch in der Längsachse, und zwar entgegen dem nach Aussen gerichteten Verwindungsdruck. Durch asymmetrische Ansteuerung der Seitenruder mittels den beiden Umlenkhebel kann dieser Effekt noch unterstützt werden. Mit diesen Massnahmen wird ein angenehmeres Gierverhalten erwartet. Zudem verringert die Schräglage den Luftwiderstand an den Seitenruder (durch Verlängerung der Ruderfront bei gleicher Ruderhöhe, resp. Verdünnung der Luftmoleküle pro Auftrittsfläche an der Ruderfront). Beim Modell übernehmen die Vertikal-Stabilisatoren am Heckleitwerk (Stabilisierung in der Hochachse) die Luftwiderstandsverminderungen.

- - - -

F: Wie wird der Optimismus begründet, dass ein UL-Flugzeug mit einer dermassen grossen Flügelfläche überhaupt eine Geschwindigkeit von 80 km/h erreichen kann?

A: Die Begründung liegt im kleinstwiderstand- und nicht auftrieboptimiertem Flügelkonzept. Dieses Konzept besteht aus einer ganzen Reihe von Massnahmen die nachfolgend aufgeführt werden (teilweise wurden dieselben Begründungen unvermeidbar schon bei vorhergehenden Antworten angewendet):

- Pfeilung der Tragflächen;
- die Räder werden während dem Flug in Radkästen verstaut;
- der Kurvenflug wird durch eine unterschiedliche Drehzahl der beiden Propeller erreicht, das heisst, es erfolgt weder ein Ausschlag der Querruder noch der Seitenruder;
- ein Anpassen an die momentane Druckpunktposition und das optimierte Ausbalancieren vom Flugzeug ist während dem Flug jederzeit durch verschieben der Kabine möglich (Schwerpunktverschiebung);
- kleine Flügelbelastung;

- der Anstellwinkel wurde auf 80 km/h bei einem Gewicht von 500 kg optimiert;
- der Auftrieb, der grösser ist als für die Reisegeschwindigkeit notwendig, wird durch die Flügelanstellung generiert;
- die tief angesetzte Reisegeschwindigkeit bewirkt eine geringe Beschleunigung der Luftmasse auf der oberen Flügelhälfte;
- durch die grosse Flügeltiefe, die optimierte Profilgestaltung und die geringe Reisegeschwindigkeit gibt es keine Flügelumströmung welche ein Strömungsabriss an der Oberseite innerhalb der beschleunigten Luft verursacht, das heisst, es erfolgt im kritischen Bereich kein Wechsel zur turbulenten Strömung (was zudem „flattern“ verhindert);
- der Flügel hat nur wurzelseitig ein minimales Auftriebsprofil;
- die Flügelprofilhöhe ist sehr niedrig gehalten;
- der Flügel hat ein durchgehendes laminares Profil;
- Flügel, Rumpf und Verstrebungen bestehen aus Stromlinienkörper ($CW < 0,1$);
- durch die Abtrennung vom Rumpf zum Flügel entsteht weniger Staudruck am Flügel da mehr „Ausweichraum“ zur Verfügung steht;
- die gegenseitige Beeinflussung durch Verwirbelungen (Interferenzwiderstand) wird durch die genannte Abtrennung reduziert;
- der induzierte Widerstand über die Flügelränder wird durch folgende Massnahmen verhindert:
 - symmetrisches Profil an den Flügelenden mit letztlich vergrössertem Nasenradius;
 - sichelförmige, leicht nach oben ausgestellte Randbögen;
 - geometrische und aerodynamische Verwindung;
- die resultierende, grosse Flügelstreckung verspricht ein gutes Auftriebs/Widerstands-Verhältnis; das heisst, nicht die geometrische Flügelform ist massgebend, sondern die Resultierende die wie folgt zustande kommt:
 - der hintere Teil vom S-Schlagprofil wird nicht zur Flügeltiefe gerechnet da dieser bereits zum Leitwerk gezählt wird;
 - der Druckpunkt verschiebt sich durch die Pfeilung der Tragflächen nach hinten in den Bereich, wie wenn mit höherer Geschwindigkeit geflogen würde; daraus resultiert zumindest theoretisch eine Verringerung des Widerstands;
- durch die geometrische und aerodynamische Verwindung resultiert eine „glockenförmige“ Auftriebsverteilung am Flügel, was als optimal eingestuft wird;
- letztlich das Erkennen, dass sich der Widerstandsbeiwert aus einer linearen und einer quadratischen Komponente besteht und es primär die quadratische zu optimieren gilt.

F: Durch die zusätzliche Möglichkeit auch durch Gewichtsverlagerung steuern zu können geht man doch alle Gefahren eines Gewichtskraft gesteuerten Flugzeuges ein. Verstärkt durch den kurzen Hebelarm vom Schwerpunkt zum HLW, entsteht da nicht auch die Gefahr für ein „Fluttersturz“ mit anschliessendem Überschlag (Tuck)?

A: Die Gewichtskraftsteuerung durch Verschieben vom Schwerpunkt ist nur für den widerstandsoptimierten Horizontalflug vorgesehen. Würde sich beim Wechsel vom Horizontalflug zum Fallflug mit dem Verschieben vom Schwerpunkt die unglückliche Konstellation für einen „Fluttersturz“ einstellen, kann der Pilot vom Fallflieger mit den Quer- und Höhenruder das Flugzeug wieder unter Kontrolle bringen. Der „Fluttersturz“ entsteht durch nach vorn schießen der Tragflächen (so zumindest eine der Theorien) und falls kein Tuck folgt, durch eine Gleichgewichtseinstellung zwischen Gewichtskraft und Widerstandskraft an den Flügel ohne Auftriebskomponente. Beim Fallflieger erfolgt die Schwerpunktverschiebung über eine mechanische Untersetzung und es sind technische Massnahmen vorgesehen die eine unvorhergesehene Schwerpunktverschiebung verhindern.

- - - -

F: Ist es nicht der gedrungene Rumpf der den unkontrollierten Überschlag bewirkt?

A: Der kurze Abstand vom Schwerpunkt zum HLW entspricht zwar nicht der klassischen Vorstellung eines Flugzeugs und würde ohne Gegenmassnahmen tatsächlich ein Fliegen verunmöglichen. Da beim Fallflieger aber nicht das beste Gleiten im Vordergrund steht, sondern der Fallflug, können die Prioritäten auf sicheres fliegen gesetzt werden. Um dem Überschlag entgegenzuwirken, liegen folgende Massnahmen vor (teilweise durch andere Sachzwänge schon vorgegeben):

- Das S-Schlagprofil wirkt dem Aufbäumen vom Flugzeug entgegen;
- Mit der beidseitigen Querruderverstellung nach oben kann sogar bewirkt werden, dass sich der Druckpunkt mit zunehmendem Anstellwinkel nach hinten verlegt;
- Der Schwerpunkt kann mittels der verschiebbaren Plattform nach vorn verschoben werden, was wiederum einen grösseren Abstand zum Druckpunkt bewirkt;
- Die Höhenruderflächen sind grösser ausgelegt als klassisch angewendet;
- Der Schwerpunkt ist weit unter dem Flügel angesetzt (analog einem Trike-Flieger);

- Die Canard-Flügel haben einen negativen Anstellwinkel und keine Profilwölbung, das heisst, werden sie im Horizontalflug, z.B. durch eine Böe angehoben, bewirkt dies einen erhöhten Anstellwinkel auf den grossen Hauptflügel, was eine automatische Korrektur bewirkt (die Canard-Flügel sind nur so gross bemessen, dass sie im Fallflug bei V_{max} gerade das Motorengewicht kompensieren).

- - - -

F: Das Zusammenspiel aller Komponenten scheint sehr komplex zu sein. Werden da keine Probleme erwartet?

A: Doch.

- - - -