

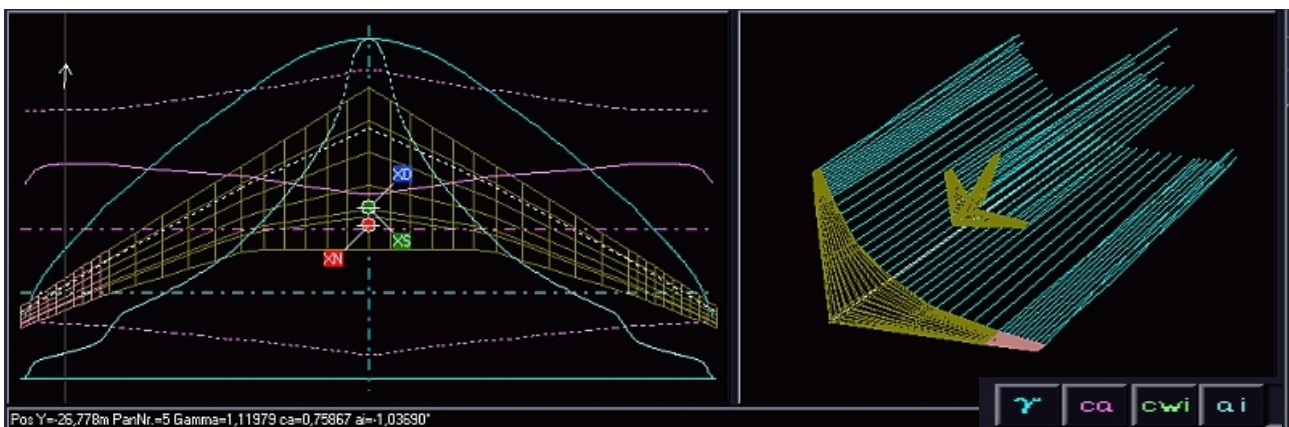
Einfluss der vertikalen Staffelung der hinteren Fläche bei einem Tandem-Doppeldecker und Rautenflugzeug mit und ohne Boxwingverbindung der Flächen.

Wichtiger Hinweis: Die folgende Untersuchung erhebt keinerlei wissenschaftlichen Anspruch, sondern diene allein dem Zweck, mir mit einfachen Versuchen mehr Klarheit über die Wirkung einer vertikalen Staffelung der hinteren Fläche auf ein Tandem-, Rauten- und Boxwingsystem zu verschaffen. Die hier angewandte Methode des Vergleichs eines bekannten Grossflugzeuges mit abgeleiteten Tandem- und Rautenflugzeugmodellen für einen bestimmten Gleitflugzustand in Meereshöhe hat zudem für andere Geschwindigkeitsbereiche nur beschränkte Aussagekraft.

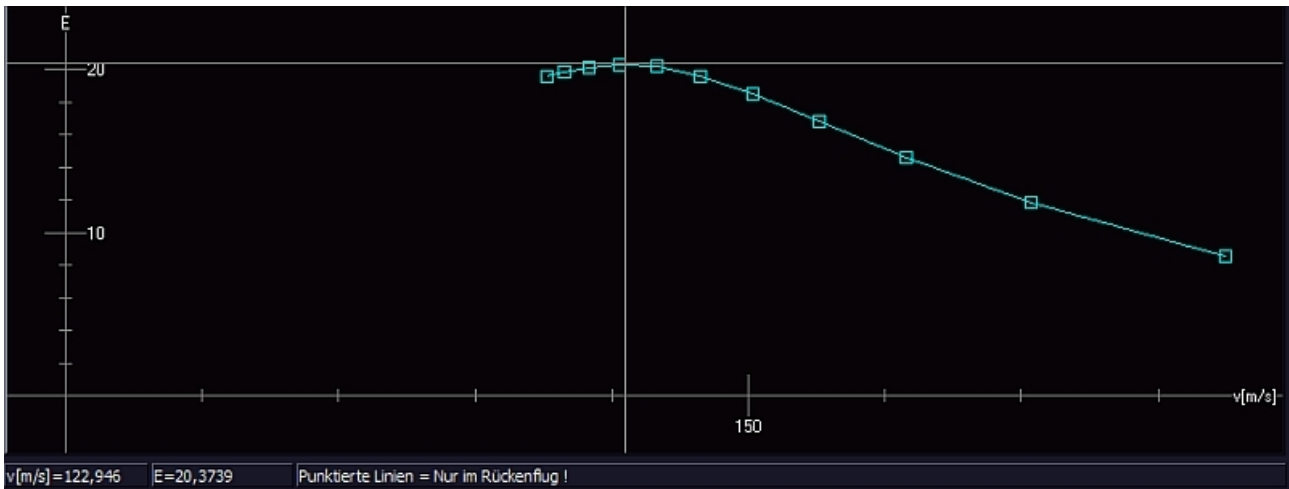


Als Ausgangskonfiguration wurde eine Boeing 777-200 im MTOM-Zustand gewählt und in ihren wichtigsten Parametern in einem Vortex-lattice-Programm modelliert. Der Widerstandsbeiwert für Rumpf, für den Rumpf-Flächenübergang und die parasitären Widerstände wurde so festgesetzt, dass bei engine out und 120 m/s die maximale Gleitzahl von 20 in Meereshöhe erreicht wurde. Diese Gleitzahl als Referenz zur Festlegung der unbekanntenen Widerstandsbeiwerte des Rumpfes und seiner Anhänge entspricht in etwa denen, die vergleichbare Flugzeuge erreichen.

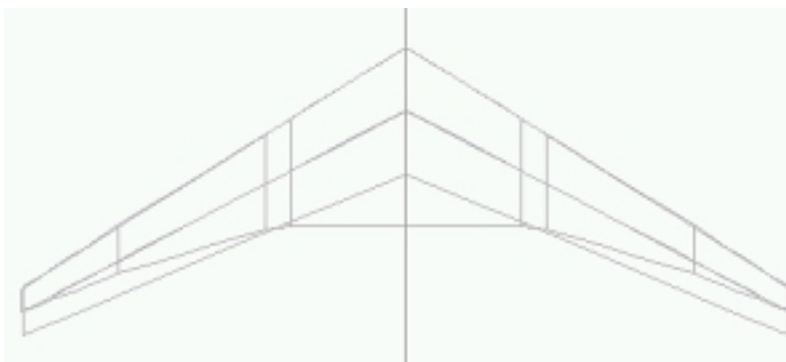
Unten das Flugzeugmodell 777-200 und dessen über die Höhenrudefunktion erzeugte Gleitflugpolare in Meereshöhe mit Profilen der Boeing 737. Da sich in weiteren Versuchen zeigte, dass für die beschriebenen Bedingungen die Verwendung der symmetrischen Profile Naca 0009/0010 zu vergleichbaren Ergebnissen führt, wurde sowohl für das Referenzmodell als auch für das aus ihm hergeleitete Tandem-Flugzeug diese Profile verwendet. Die Schränkung der Tragflächen wurde zur weiteren Vereinfachung einheitlich auf -2 Grad gesetzt. Das Höhenleitwerk wurde so eingestellt, dass es im Gleitflug mit 120 m/s praktisch keinen Auftrieb lieferte.



Die gezeigte Gleitflugpolare erhebt keinen Anspruch darauf, mit der Realität übereinzustimmen, sie ist lediglich plausibel, dient im weiteren nur dem Vergleich und entspricht bekannten Daten von ähnlichen Flugzeugen.



Um aus dem Referenzflugzeug ein Tandem-Flugzeug mit zwei Flächen von doppelter Streckung zu erzeugen, wurde die Pfeilung für die vordere Fläche beibehalten, die hintere Fläche wurde in der Pfeilung angepasst. Die entstandenen, linear zugespitzten Flächen wurden so angeordnet, dass die Ursprungsfläche abgedeckt wurde. Rumpf und Leitwerk blieben unverändert.

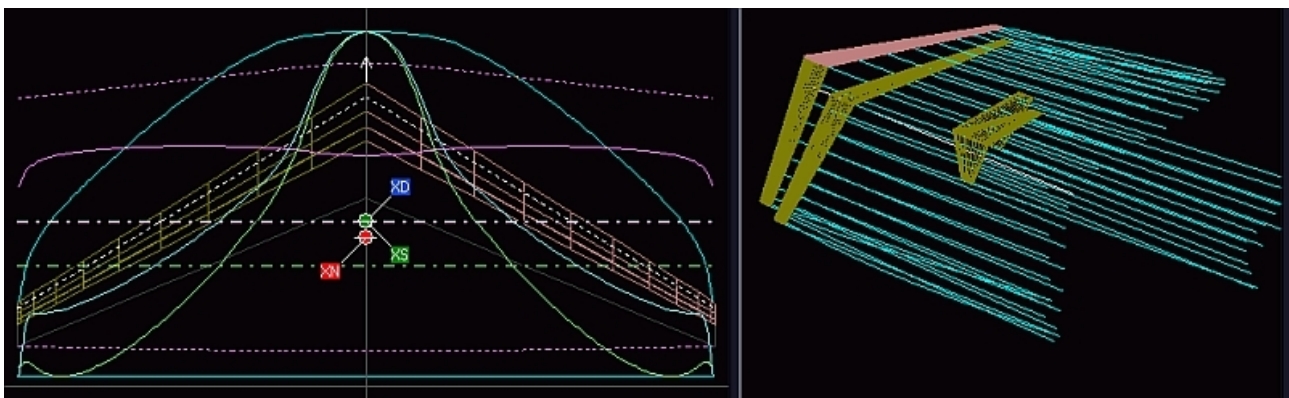


Links die Lage der Flügel über der Ursprungstragfläche. Die Streckung der Einzelflügel beträgt 17,6, die des Gesamtsystems entsprechend 8,8, wie für den B777-200 Flügel.

Die Flügel wurden dem Rumpf der B777-200 vertikal um 5,5m posit. gestaffelt, h/b daher unter 10%. Untere Fläche 5 Grad V-Stellung.

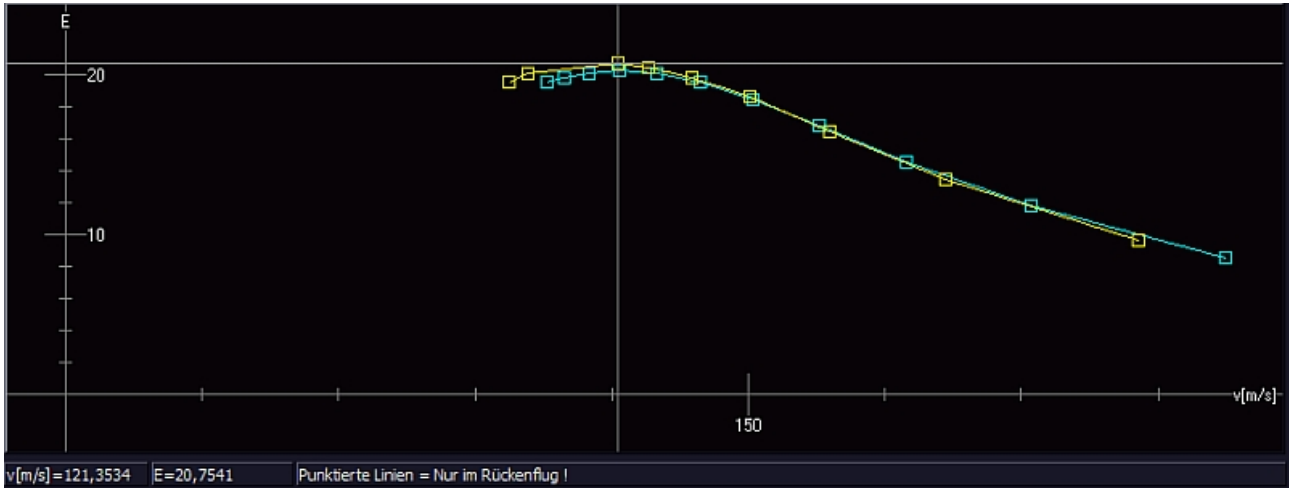
Für diese Konfiguration wurde über den Schwerpunkt das gleiche Stabilitätsmass hergestellt wie für das Ausgangsflugzeug, dann wurde über die Höhenleitwerksfunktion* die Polare für den Flug ohne Antrieb in Meereshöhe erstellt. (*nur fliegbare Zustände werden ausgewertet)

Die Abbildung zeigt das entstandene Flugzeug im VL-Programm.

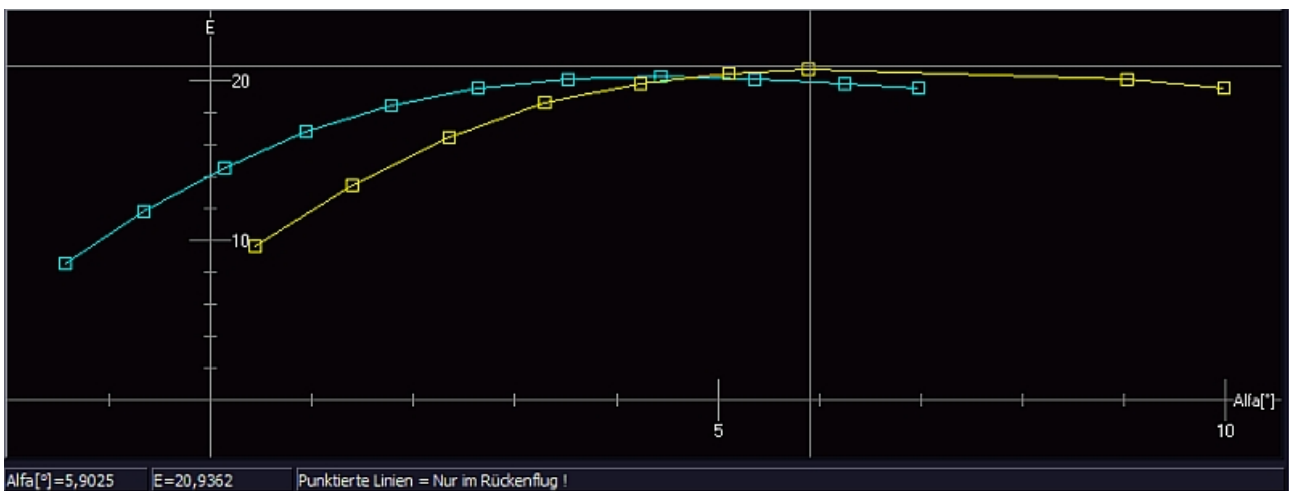


Links ist die vordere Fläche des gepfeilten, positiv gestaffelten Doppeldeckers abgebildet sowie die Neutralpunkt- und die eingestellte Schwerpunktlage.

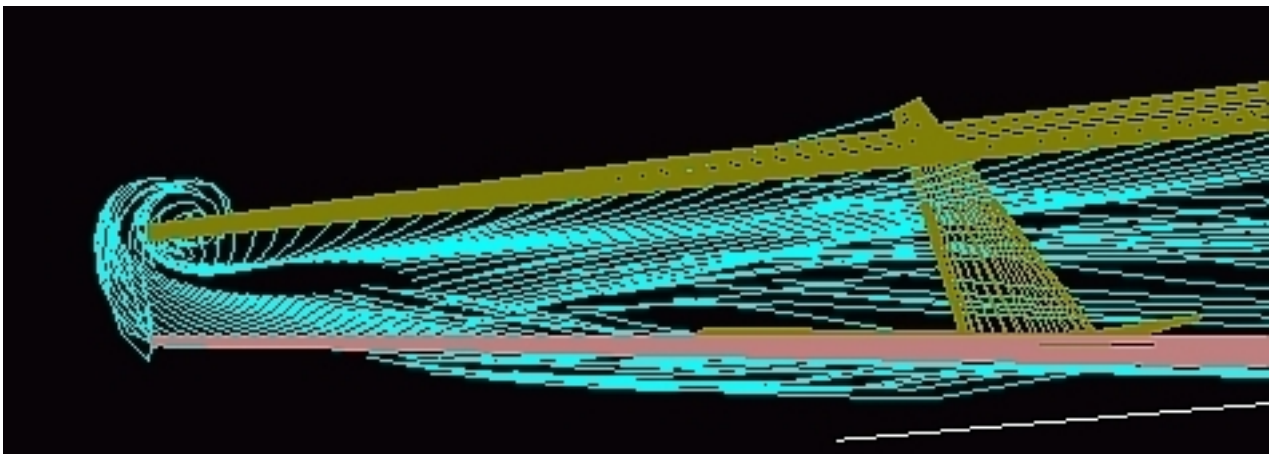
Die Polare dieses Flugzeuges weist nur einen geringen Unterschied zu der des angenommenen Vergleichsflugzeuges auf. Blau B777-200 (angenommen), Gelb Doppeldecker, was hier auch darauf zurückzuführen ist, dass der vertikale Abstand in der positiven Staffelung gering ist. Die Effektivität eines gestaffelten Doppeldeckers steigt mit Vergrößerung des vertikalen Abstands der Flächen zueinander deutlich an. Hier ergab sich der geringe vertikale Abstand aus der Vorgabe der Rumpfhöhe.

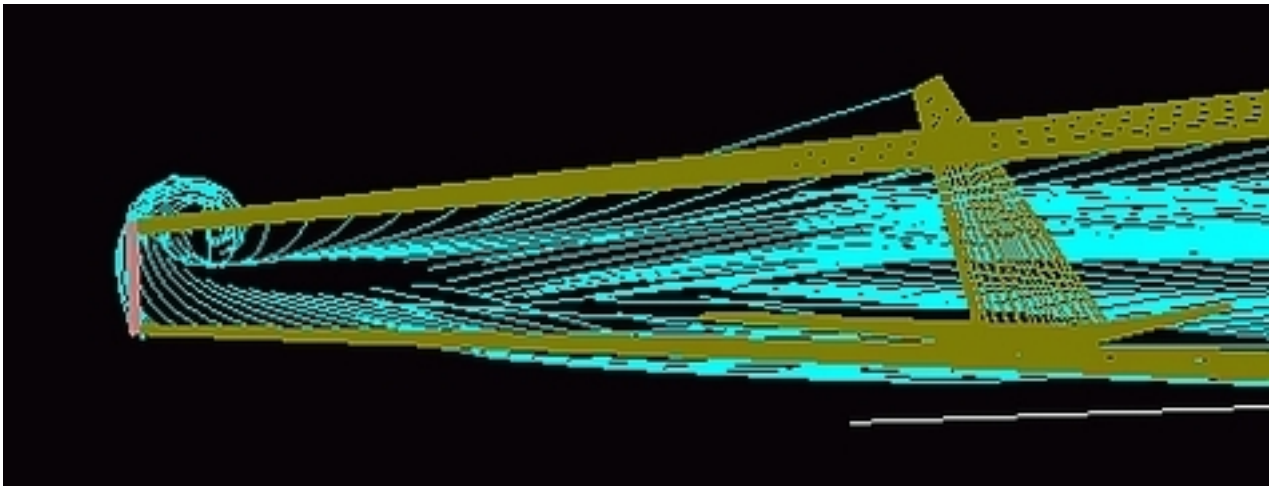


Eine Darstellung der Gleitzahl der Flugzeuge über Anstellwinkel zeigt, dass die Kurve für den Doppeldecker lediglich nach rechts zu höheren Anstellwinkeln verschoben ist.



Nachfolgend wurden die Flügelenden dieses Doppeldeckers mit einfachen Seitenscheiben zu einem Boxwing verbunden. Hier Wirbelentwicklung ohne, nachfolgende Seite mit Seitenscheibe:

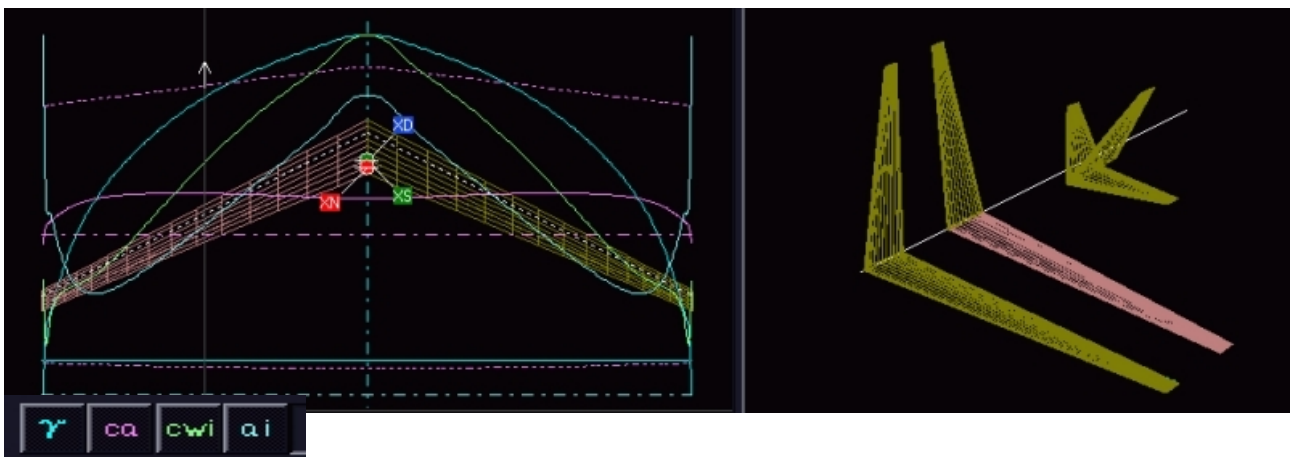




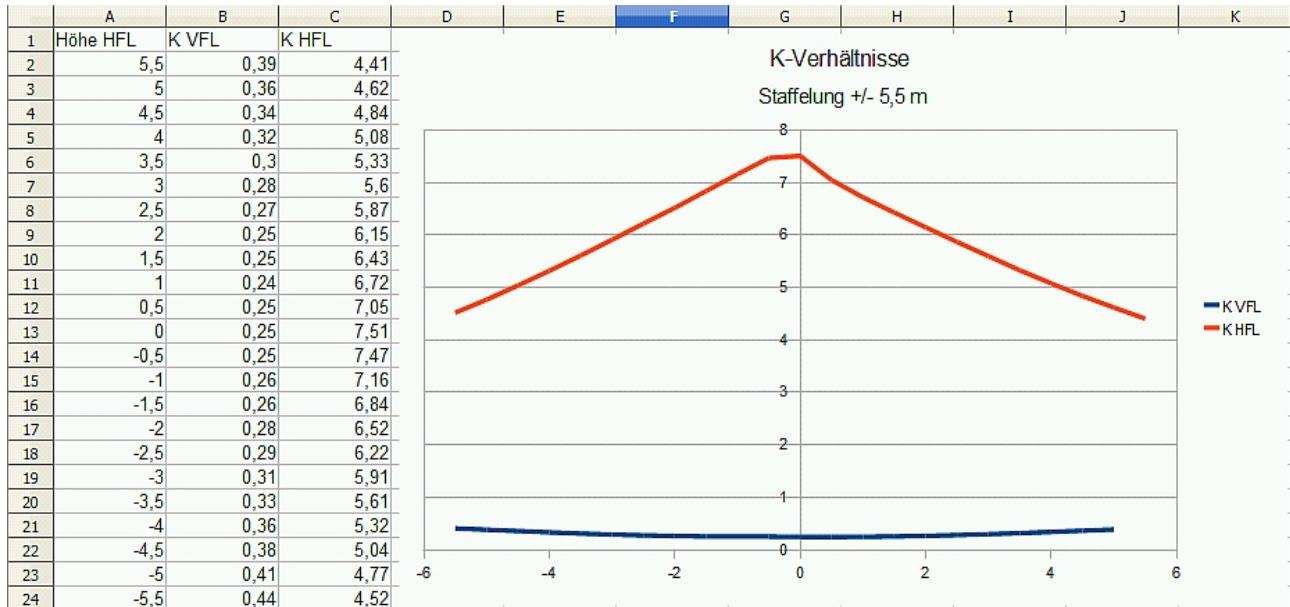
Die dazugehörige Polare (mit geringerem Nachlauf erzeugt) zeigte keine signifikante Steigerung der Gleitleistung im untersuchten Bereich, wobei angemerkt wird, dass der vertikale Abstand der beiden Flächen mit 60 m Spannweite von 5,5 m (Rumpfdurchmesser 6,2 m) keine sehr deutliche Verbesserung erwarten liess. Grün die Polare des „geboxten“, positiv gestaffelten Doppeldeckers, rot die Polare der B777-200 in der hier erzeugten Modellierung als Referenzmodell.



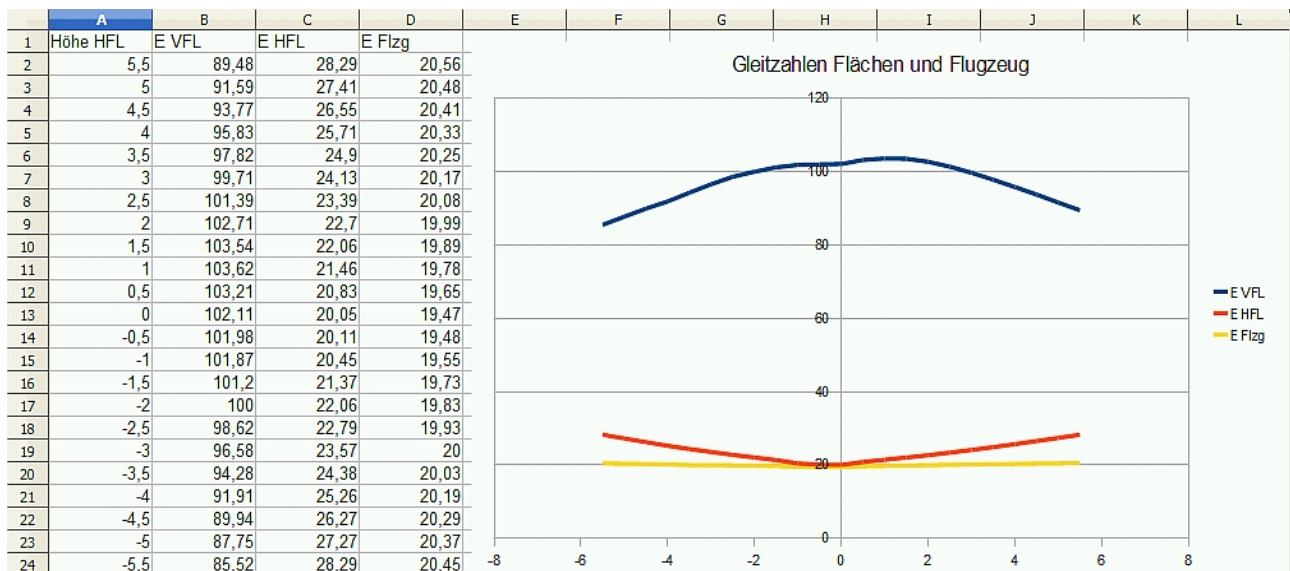
Anschliessend sollte die Frage geklärt werden, wie sich eine ausgeprägtere Staffelung der beiden Doppeldeckerflächen über der x-Achse im Versuch mit verschiedenen vertikalen Staffelungen in der z-Achse auswirken würde. Dazu verblieb die Eintrittskante der vorderen Fläche in ihrer über der Eintrittskante der Originaltragfläche und die hintere Fläche wurde 2,2 Tragflächentiefen (Mitte) dahinter angeordnet. Einstellwinkel Vordere FL 2,0°, Hintere FL 0,2°, Höhenleitwerk 0°. Unten das resultierende Tandem-Flugzeug in der Übersicht: Flächen auf gleicher Höhe, Auftriebsverteilung hintere Fläche bei der resultierenden Geschwindigkeit 120 m/s für das Stabilitätsmass 15%.



Nach dieser Grundeinstellung wurde die hintere Fläche aus der Nullposition hinter der vorderen Fläche in Schritten von 0,5 m bis zu einem vertikalen Abstand von +/- 5,5 m verschoben und das Programm ermittelte für eine vorgegebene Gleitgeschwindigkeit von 120 m/s die Güte (K-Faktor) des Flügels (C_{wi} / C_{wi_ell}) für die vordere und hintere Fläche sowie deren Gleitzahlen (E) und die Gleitzahl des Gesamtsystems. Diese Daten wurden in ein Kalkulationsprogramm eingelesen und dann graphisch dargestellt.

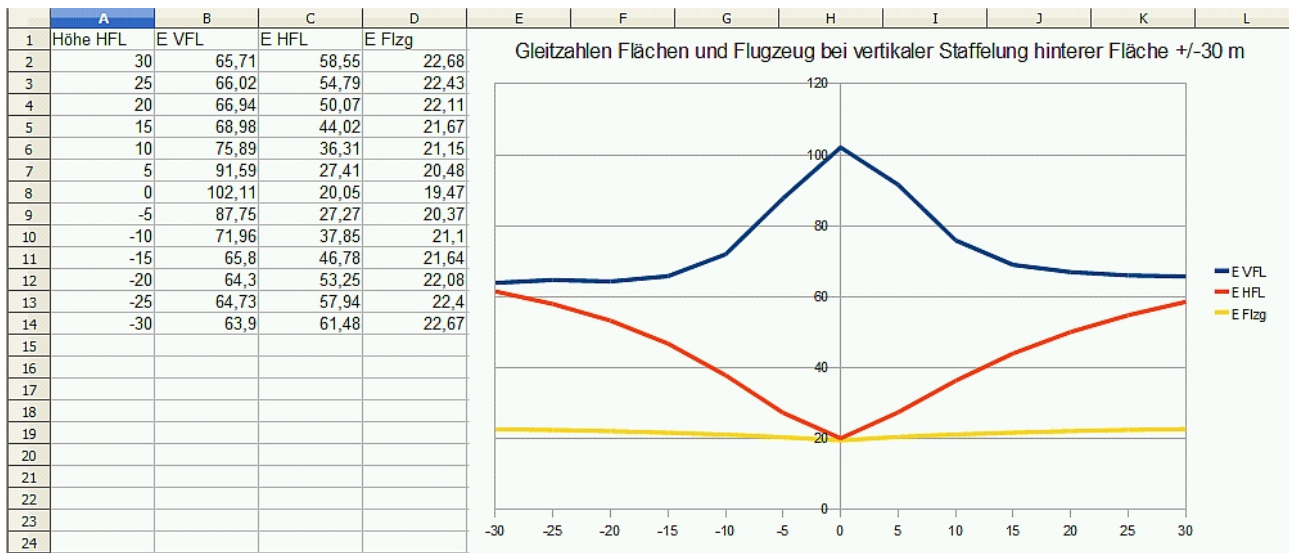


Reihe A für die Höhenstaffelung, B und C für die die K-Werte vordere/hintere Fläche. Die K-Werte der hinteren Fläche (rot) ändern deutlich mit der vertikalen Staffelung, während die K-Werte der vorderen Fläche auf einem Niveau von 0,25 bis 0,44 bleiben. Das spiegelt sich auch in den Gleitzahlen der Flächen wider:



Reihe A für die Höhenstaffelung, B und C für die Gleitzahlen von Flächen und Flugzeug.

Die Gleitzahlen der beiden Tragflächen unterscheidet sich deutlich (blau vordere, rot hintere), während das Flzg. insgesamt (gelb) von der Aufspaltung und Staffelung kaum profitiert, denn auch das Modell der B777 erreicht bei gleichen Verhältnissen eine Gleitzahl von 20. Jedoch bemerkenswert ist der Anstieg der Gleitzahl der vorderen Fläche auf Werte über 100 durch die Anwesenheit einer weiteren Fläche hinter ihr, die den Abstrom der vorderen positiv beeinflusst und deren K-Faktor auf 0,24 fallen lässt. (Elliptische Auftriebsverteilung am Einzelflügel = 1).



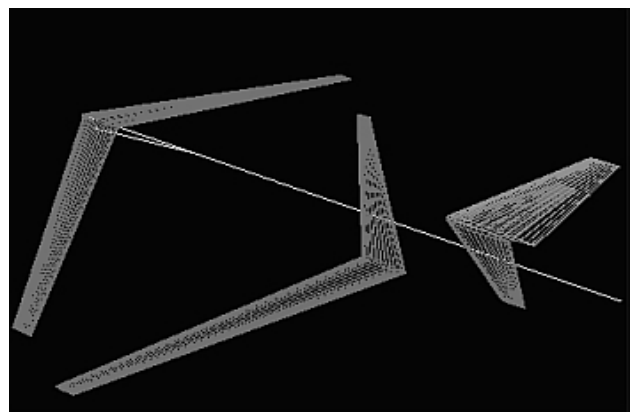
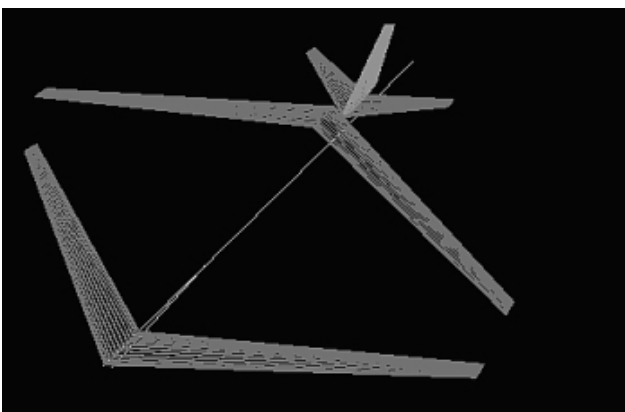
Um einschätzen zu können, ob es sich bei den oben dargestellten Ergebnisse um solche handelt, die evtl. nur für einen gepfeilten Tandem-Doppeldecker gültig sind, wurde diese Konfiguration in ein Rautenflugzeug gewandelt, wie es auch die Grundkonfiguration für einen modernen Boxwing ist.

Dazu wurde die hintere Fläche des Doppeldeckers statt mit 26,5 Grad rückwärts um 26,5 Grad vorwärts gepfeilt und (bezogen auf die Anströmkannte, Mitte) um 10,5 m nach hinten gerückt. Die vordere Fläche wurde um 15,6 m nach vorne gerückt. Die Enden der beiden Flächen konnten so später durch ein ca. 25 Grad gepfeiltes Winglet zum Boxwing verbunden werden.

Zu diesem Flugzeug mit Rautenflügel wurde ein Schwerpunkt ermittelt, der für diese Konfiguration mit 120 m/sec stabile Flugzustände zulässt. Um das Stabilitätsmass aus den vorherigen Versuch beibehalten zu können, erhielt die hintere Fläche den Anstellwinkel der vorderen, 2° zu 2°.

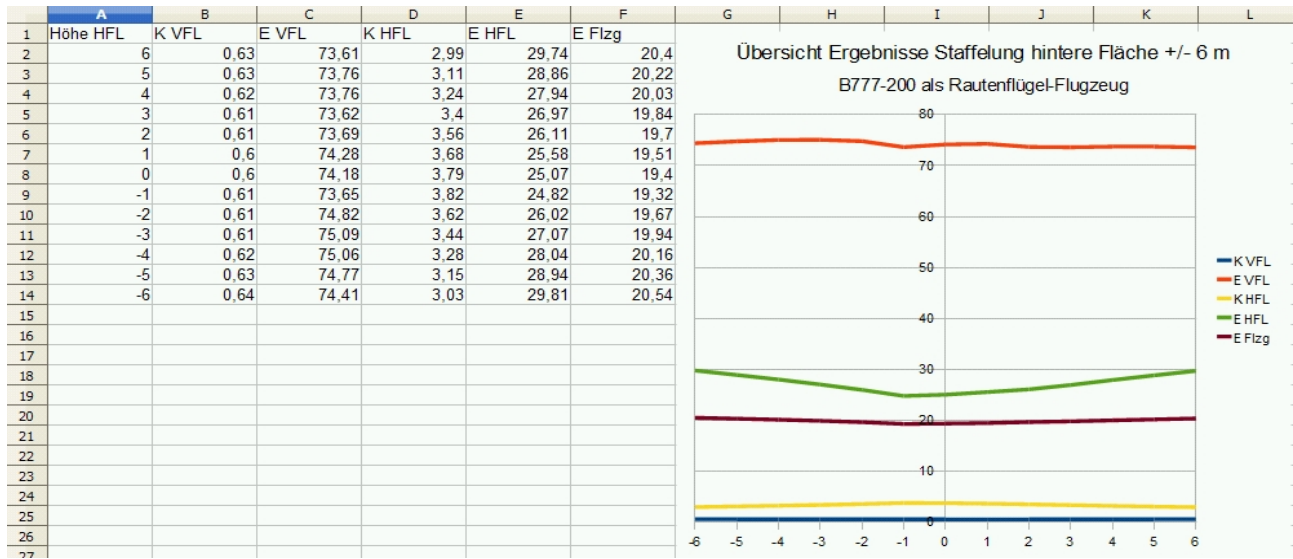
Die Übersicht zeigt die durchgeführten vertikalen Staffelungen des hinteren Flügels um +/- 6 m in den Endlagen, woraus sich verschiedene negativ/positiv gestaffelte Rautenflügel ergeben, wie sie die Grundlage heutiger Boxwing-Vorschläge bilden.

Um zu vergleichbaren Daten zu gelangen, wurden Grösse, Lage und Einstellwinkel Höhenleitwerk, Seitenleitwerk und auch die Widerstandsbeiwerte Rumpf unverändert beibehalten.

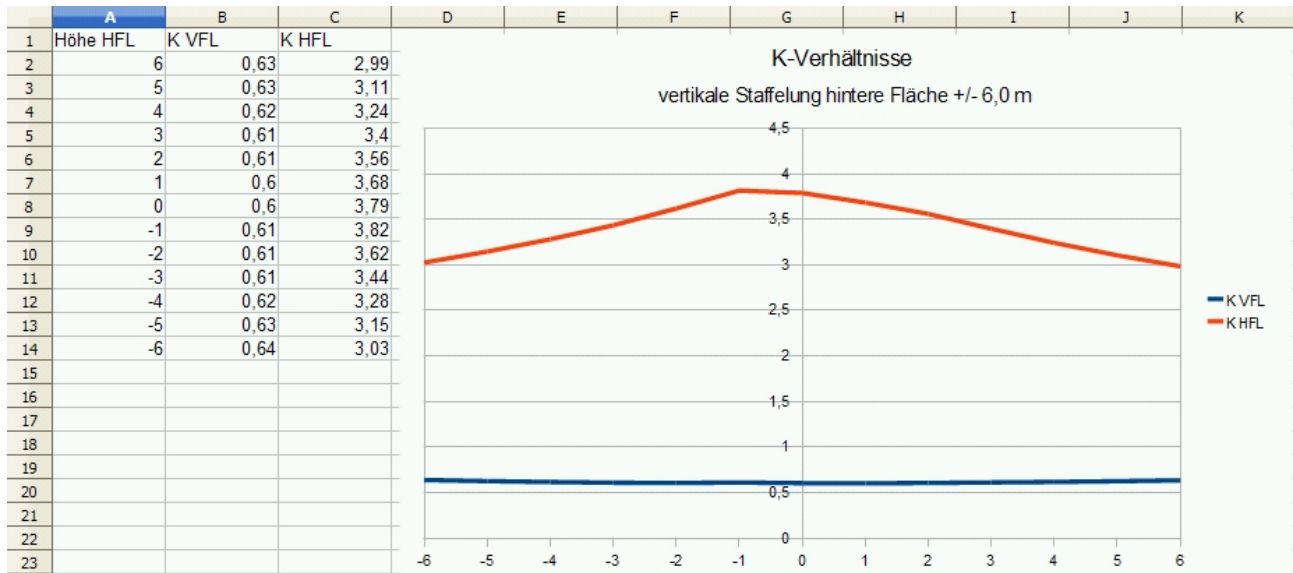


Es ergaben sich für die untersuchte Geschwindigkeit 120 m/sec in Meereshöhe bei Verwendung von Naca0009 und Naca 00010 Profilen (wie Vergleichsflugzeuge) die folgenden, wieder graphisch dargestellten Ergebnisse der Staffelungen:

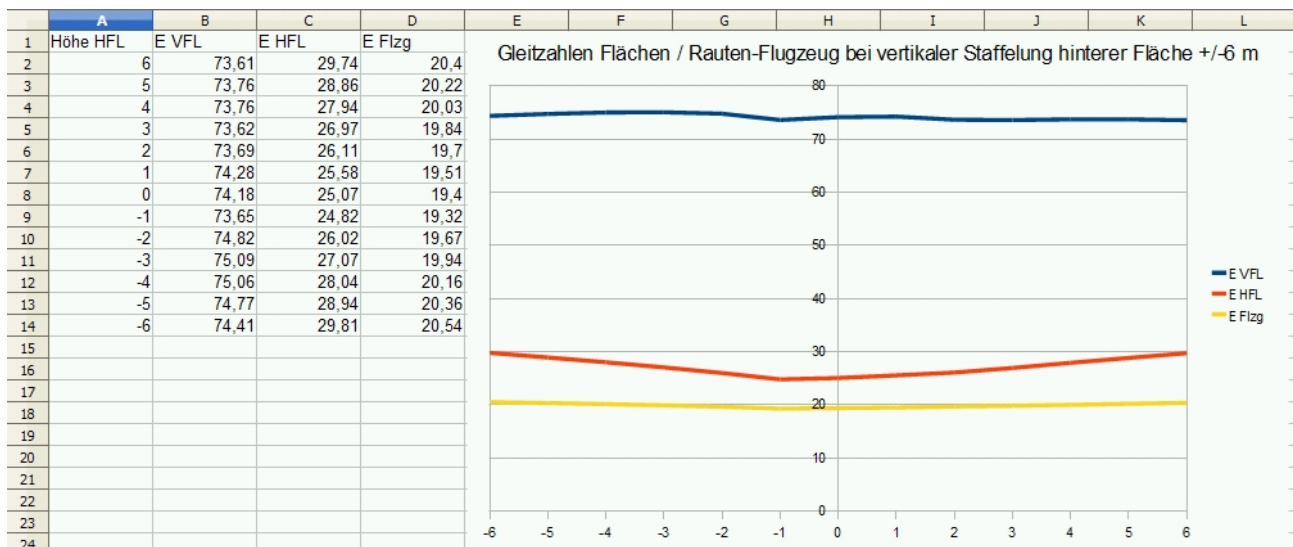
Übersicht:



K-Faktoren:

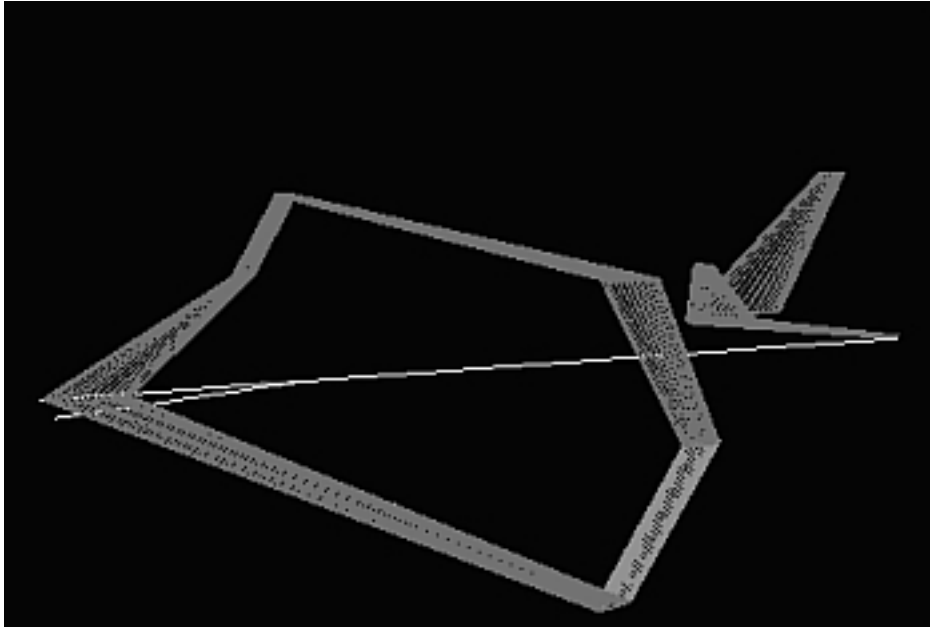


Gleitzahlen.

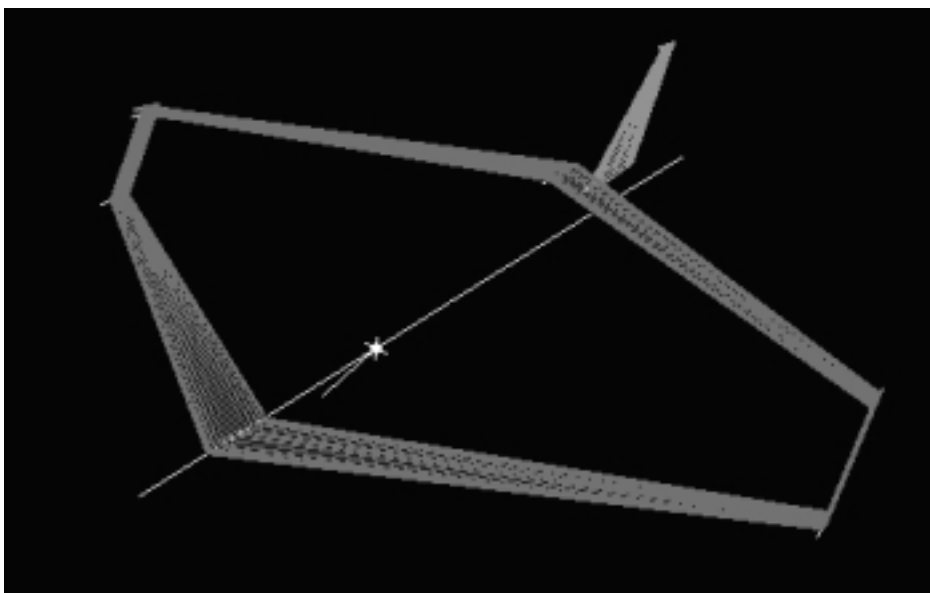


Die Ergebnisse fallen ähnlich den Staffelversuchen des gepfeilten Doppeldeckers aus und es ist gegenüber der Gleitzahl des Ausgangsflugzeuges Boeing 777-200 für 220 m/s im antriebslosen Gleitflug, E ca. 20, erneut keine signifikante Leistungssteigerung festzustellen.

Da heute überwiegend negativ gestaffelte Boxwings vorgeschlagen werden, wurde abschliessend ein Rautenflügel mit negativer Staffelung gewählt, dessen vordere Fläche so verlängert wurde, dass sie als „Winglet“ rechtwinklig nach oben/hinten geführt werden konnte. Die Pfeilung des auf diese Weise erzeugten winglets betrug ca 25 Grad, der vertikale Abstand der Flächen (keine V-Form) betrug bei diesem Boxwing 6 m – entsprechend $0,1 b$. ($b = 60,9$ m)



Danach wurde das Flugzeug wieder für die Gleitgeschwindigkeit 120 m/s gerechnet und erreichte dabei eine Gleitzahl von 20,23. Die einfachen „Winglets“ steigerten die Leistung nicht. Um aber auch auszuschliessen, dass das Höhenleitwerk einen erheblichen Zusatzwiderstand produziert, den ein ohne HLW stabilisierter Boxwing nicht aufwiese, wurde der Anstellwinkel des Flugzeuges nach der Ermittlung der Gleitzahl zunächst im Programm fixiert und dann das Höhenleitwerk entfernt – Flugstabilität war hier also nicht gefordert.



Mit dieser Massnahme stieg die erreichte Gleitzahl von 20,23 auf 23,33!

Um wieder Flugstabilität zu erreichen, musste die hintere Fläche des Boxwings einen kleineren Einstellwinkel als die vordere Fläche erhalten – EWD 1,6 Grad. Mit dieser Einstellung erreichte das Flugzeug für die erneut vorgegebene Geschwindigkeit von 120 m/s schliesslich eine Gleitzahl von 22,29, während das Ausgangsflugzeug B777-200 für die gleiche Geschwindigkeit unter den gleichen Bedingungen eine Gleitzahl um 20 erreichte.

Eine Verbesserung um 11,5%, die ohne Optimierung dieses Boxwings erreicht wurde, während die Gleitzahl von 20 letztlich der eines bereits optimierten Systems entspricht, denn es wurden in der Untersuchung Widerstandsbeiwerte für Rumpf und Anhänge verwendet, die sich aus dem planaren System ergeben hatten.

Nicht gesagt ist damit, dass sich die Optimierung eines Boxwings nicht doch über ein evt. deutlich kleineres Höhenleitwerk vollziehen kann, denn hier spielen ja auch Fragen der Flugstabilität, des möglichen Schwerpunktbereichs, Steuerbarkeit und weitere Fragen eine ausschlaggebende Rolle.
- Abschliessend:

Da es sich um sehr einfache Versuche ohne Optimierung von Einstellwinkeln, Verwindungen und anderem handelte, die von dem nicht referenzierten VI-Programm mit kurzem Nachlauf gerechnet wurden, stellen die Ergebnisse selbstverständlich keine absoluten Aussagen zu den verglichenen Flugzeugen dar, sondern sie geben lediglich Tendenzen wieder, die auf einfachste Art und Weise erkennbar gemacht wurden.

3.2.2011 Dieter M. Schulz-Hoos, München
www.sunny-boxwing.de