
Berechnung von neuen Handicap-Faktoren für die Wertung von Segelflugzeugen in der Club-Klasse

KAI ROHDE-BRANDENBURGER

Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

kai.rohde-brandenburger@dlr.de

2017

Bezeichnungen

<u>Zeichen</u>	<u>Benennung</u>	<u>Einheit</u>
A	Auftrieb	N
$Anteil$	Anteil der jeweiligen Thermikart oder Gleitflugstrecke an der Gesamtdistanz	—
a	Aufwindstärke im Thermikzentrum	$\frac{m}{s}$
b	Aufwindgradient	$\frac{s}{m^2}$
C_A	Auftriebsbeiwert des Segelflugzeuges	—
C_W	Widerstandsbeiwert des Segelflugzeuges	—
D	Distanz der Wertungsstrecke	m
E	Gleitzahl	—
FB	Flächenbelastung	$\frac{kg}{m^2}$
g	Erdbeschleunigung	$\frac{m}{s^2}$
G	Gewichtskraft	N
H	Handicap-Faktor	—
H_{neu}	Handicap-Faktor mit Spreizungsreduzierung	—
m	Masse des Segelflugzeuges	kg
n	Lastvielfaches	—
r	Radius	m
S	Flügelfläche	m^2
t	Zeit	s
V	Fluggeschwindigkeit	$\frac{km}{h}$
V_{FB}	Fluggeschwindigkeit bei einberechneter Flächenbelastung	$\frac{km}{h}$
V_{Gl}	Geschwindigkeit im Gleitflug	$\frac{km}{h}$
V_K	Geschwindigkeit im Kreisflug	$\frac{km}{h}$
$V_{KGeradeausflug}$	Geradeausfluggeschwindigkeit für die Umrechnung zum Kreisflug	$\frac{km}{h}$
$V_{Minimal}$	Überziehgeschwindigkeit im Geradeausflug	$\frac{km}{h}$
$V_{minSinken}$	Fluggeschwindigkeit des geringsten Eigensinkens im Geradeausflug	$\frac{km}{h}$
V_R	Reisegeschwindigkeit im Wettermodell	$\frac{km}{h}$
$V_{R,Re}$	Reisegeschwindigkeit mit einberechnetem Reynoldszahleffekt/FB-Faktor	$\frac{km}{h}$
$V_{Vorflug}$	Fluggeschwindigkeit nach McCready	$\frac{km}{h}$
W	Widerstand	N
w_A	Luftmassensteigen	$\frac{m}{s}$
w_S	Sinkgeschwindigkeit im Geradeausflug	$\frac{m}{s}$
$w_{S,FB}$	Sinkgeschwindigkeit im Geradeausflug bei einberechneter Flächenbelastung	$\frac{m}{s}$
w_{SK}	Sinkgeschwindigkeit des Segelflugzeuges im Kreisflug	$\frac{m}{s}$
w_{St}	Steiggeschwindigkeit im Aufwind	$\frac{m}{s}$
ρ	Luftdichte	$\frac{kg}{m^3}$
ϕ	Hängewinkel	$Grad$

Abkürzungen

<u>Abkürzung</u>	<u>Bedeutung</u>
Akaflieg	Akademische Fliegergruppe
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
EM	Europameisterschaft
FAI	Federation Aeronautique Internationale
idaflieg	Interessengemeinschaft Deutscher Akademischer Fliegergruppen e.V.

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen	i
Abkürzungen	iii
1 Einleitung und Motivation	1
2 verwendetes Thermikmodell	2
3 Berechnung der mittleren Überlandfluggeschwindigkeit	5
3.1 Polaren aus der Flugleistungsvermessung	5
3.2 Einfluss der Flächenbelastung auf die Polare	6
3.3 Verringerung der Spreizung des Handicaps	7
3.4 Berechnungsverfahren im Wettermodell	8
3.4.1 Berechnung in der Thermik	8
3.4.2 Berechnung der Vorfluggeschwindigkeit	10
3.4.3 Berechnung der Gleitgeschwindigkeit	11
3.4.4 Überlandfluggeschwindigkeit	11
4 Neue Handicap-Faktoren	13
4.1 Vergleich mit den bisherigen Faktoren	13
4.2 Anpassung der Faktoren in der Zukunft	14
5 Einfluss auf Wettbewerbsergebnisse	15
5.1 EM Rieti	15
6 Zusammenfassung	16
Anhang	19

1 Einleitung und Motivation

Die Erfahrung der Piloten in den Wettbewerben über die letzten Jahrzehnte führte dazu, daß bestimmte Flugzeuge bevorzugt wurden, da sie im Wertungssystem teilweise bevorteilt sind. Die aktuellen Meldelisten zu Meisterschaften und die danach hervorgegangenen Wertungen zeigen ein recht eindeutiges Bild. Um den ursprünglichen Charakter dieser Klasse wieder aufzugreifen, müssten die Bewertungsfaktoren geändert und verschoben werden. Außerdem sollte versucht werden, den Schwerpunkt bei der Berechnung der Handicap-Faktoren auf die moderneren Flugzeuge zu legen. Die Idee einer Auftrennung der Club-Klasse wurde verworfen.

Um die Flugzeuge überhaupt gegeneinander werten zu können, wurden Handicap-Faktoren eingeführt, welche die Leistung der Flugzeuge einbeziehen. Die aktuellen Wertungsfaktoren sind beinahe identisch aus der DMSt-Indexliste und [1] für dezentrale Wettbewerbe übernommen worden und beziehen sich somit auf ein relativ untypisches Wettermodell für zentrale Wettbewerbe.

Die Motivation dieser Ausarbeitung ist eine gerechtere Wertung aller Flugzeugmuster und somit auch die Nutzung modernerer und meistens auch sicherer Flugzeugmuster für Wettbewerbe. Das Wettermodell zur Berechnung der Faktoren wurde auf wettbewerbstypische Werte angepasst. Zudem wurden alle aktuellen Flächenbelastungen/Fluggewichte in dieser Arbeit bei der Berechnung einbezogen, weswegen kein Flugzeug mehr bei verschiedenen Massen einen gleichen Handicap-Faktor hat. Die Spreizung der Handicapfaktoren wurde danach mit einem Faktor verringert, um das aktuelle Wertungssystem und die Software weiterhin nutzen zu können.

2 verwendetes Thermikmodell

Das verwendete Thermikmodell wurde auf Grundlage der bisherigen Modelle von Horstmann, Quast und Ronig angepasst. Dazu wurde der Betrag und Verlauf der Thermikstärke nach Betrachtung der Wertungsflüge in der Deutschen Meisterschaft in Zwickau 2015 angepasst. Der Anteil der jeweiligen Thermikart und des Gleitfluges an der Gesamtstrecke wurden ebenfalls angepasst. Damit erhöht sich das durchschnittliche Steigen in der Thermik deutlich und die daraus resultierenden rechnerischen Überlandfluggeschwindigkeiten steigen an. Dadurch werden Bereiche der vermessenen Polare genutzt, welche in einem höheren Geschwindigkeitsbereich liegen als bisher.

Das neue Modell beschreibt im Gegensatz zum bisher benutzten linearen Verlauf den

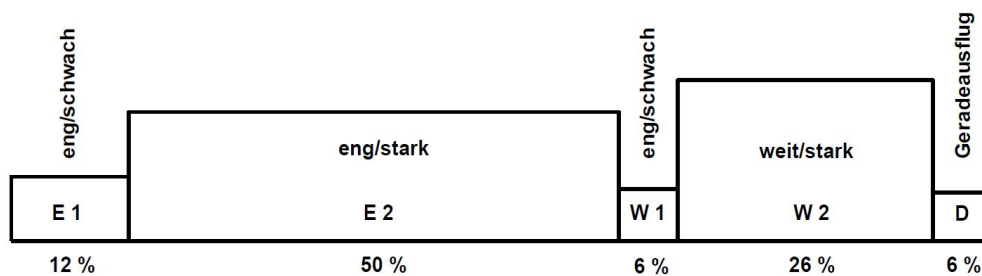


Abb. 2.1: Aufteilung der Gesamtstrecke im Wettermodell nach Ronig [1]

Verlauf der Aufwindgeschwindigkeit über dem Thermikradius mit einem quadratischen Ansatz. Zudem entfallen die Thermikarten mit schwacher und sehr enger Thermik.

Die vorherigen Wettermodelle stellen einen DMSt-Flug über einen ganzen Tag dar, wo

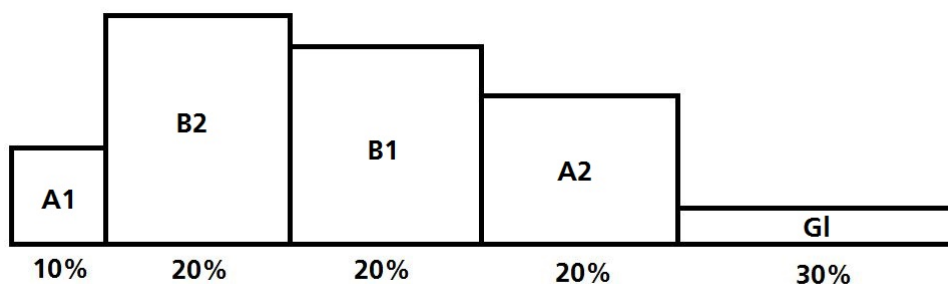


Abb. 2.2: Aufteilung der Gesamtstrecke im neuen Wettermodell

mit schlechter Thermik am Anfang, guter Thermik über den Tag hinweg und, den letzten Aufwind nutzend, wieder nach Hause geflogen wurde. Das neue Modell soll einen guten Wettbewerstag widerspiegeln, an dem bereits bei guter Thermik gestartet und in einem

Faktoren	Thermik A1	Thermik A2	Thermik B1	Thermik B2	GL	Einheit
a	2.5	3.5	4.95	5.95	-	[m/s]
b	-0.00005	-0.00008	-0.00009	-0.0001	-	[m/s/m ²]
Anteil	10	20	20	20	30	[Prozent]

Tabelle 2.1: Neues Wettermodell

Faktoren	Thermik E1	Thermik E2	Thermik W1	Thermik W2	GL	Einheit
a	3.5	4.2	2.0	4.0	-	[m/s]
b	-0.023	-0.02	-0.0042	-0.01	-	[m/s/m]
Anteil	12	50	6	26	6	[Prozent]

Tabelle 2.2: Wettermodell nach Ronig [1]

guten Wetterfenster und immer noch aktiver Thermik gelandet wird.

Die Aufwindgeschwindigkeit berechnet sich in dem linearen Modell über dem Kreisradius des Aufwindes zu:

$$w_A(r) = a + r * b \quad (2.0.1)$$

Im quadratischen Modell verändert sich die Aufwindgeschwindigkeit mit dem Quadrat des Radius r:

$$w_A(r) = a + r^2 * b \quad (2.0.2)$$

Die genauen Werte der einzelnen Thermikarten im jeweiligen Modell sind in den Tabellen zu finden.

Der Verlauf der Thermikstärke über dem Radius ist für die vier benutzten Thermikarten in Abb. 2.1 aufgetragen, um einen Vergleich mit dem bisherigen DMSt Modell zu ermöglichen.

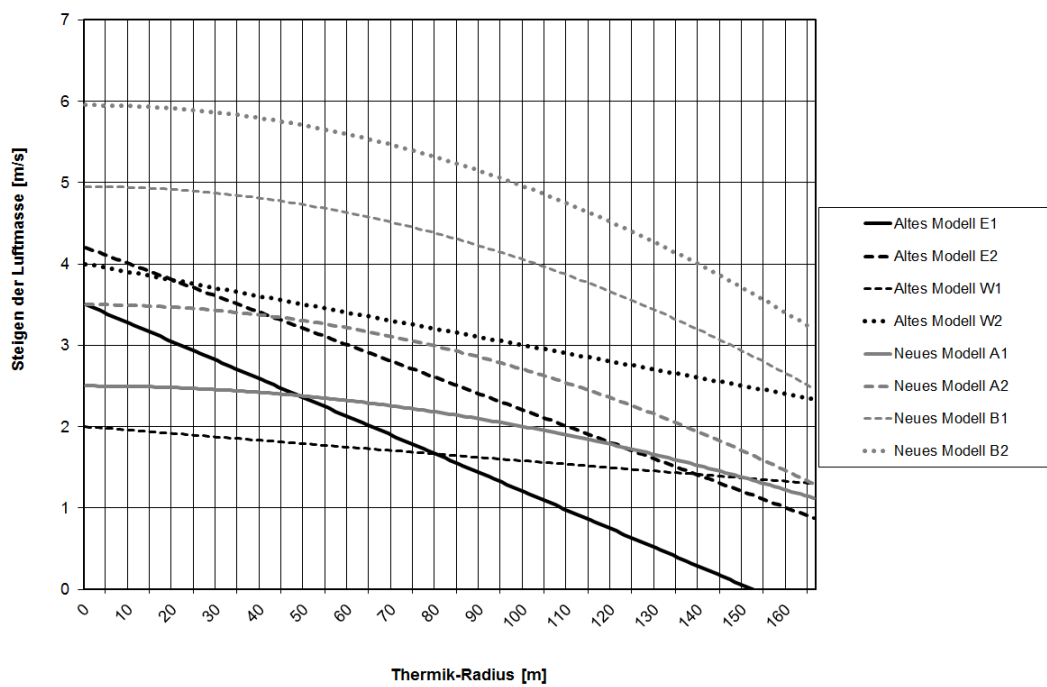


Abb. 2.3: Verlauf der Aufwindgeschwindigkeiten über dem Thermikradius

3 Berechnung der mittleren Überlandfluggeschwindigkeit

Bei der Berechnung der mittleren Überlandfluggeschwindigkeit, auch Reisegeschwindigkeit genannt, sollte jedem bewußt sein, dass dies nur theoretischer Wert ist. Hierbei wird angenommen, dass der Pilot optimal fliegt, die Kreisflugpolare des Flugzeuges identisch ist mit der Umrechnung aus der Geradeausflugpolaren, die Modellierung der Thermik stimmt und kein Wind vorherrscht. Dies ist ein oft genutztes Verfahren, um verschiedene Flugzeuge ohne Piloteneinfluß miteinander zu vergleichen zu können und wird so vor allem in der Auslegung von neuen Flugzeugen genutzt. Ansätze aus dem europäischen Umfeld unter Einbeziehung und Auswertung von IGC-Files können nur mit einer hohen Anzahl von Flügen und statistischen Methoden geschehen. Dies ist ein interessanter Ansatz und sollte für die Zukunft definitiv betrachtet werden.

Weitere Möglichkeiten, wie die Einbeziehung der Flugeigenschaften oder der genauen Vermessung der Kreisflugpolaren sind aktuelle Forschungsthemen. Zudem ist dies ein rein thermisches Modell, ohne Konvergenzen und Einflüsse von Wellen oder Hangaufwinden. Es kann nur versucht werden, ein einigermaßen gemitteltes Wettermodell zu finden. Es wird immer Wetterlagen geben, bei denen einige Muster gerade noch in der Thermik steigen, wobei bei anderen Wetterlagen die höchste maximale Gleitzahl einzig über den Erfolg entscheidet. Die faire Betrachtung dieser sporadischen Fälle ist in einer Handicap-Klasse nicht möglich und sollte von dem Wettbewerbsleiter bei der Auswahl der Aufgabe bedacht werden.

3.1 Polaren aus der Flugleistungsvermessung

Für die Berechnung mit einem Wettermodell muss die Leistung des Segelflugzeuges bekannt sein. Die Leistung eines Segelflugzeuges wird in diesem Fall als Geschwindigkeitspolare dargestellt. Dies hat den größten Einfluss auf die Reisegeschwindigkeit im theoretischen Modell. Da diese genauen Werte schwer rechnerisch zu ermitteln sind, und die Herstellerangaben zumeist so positiv sind, daß dies zu völlig unfairen Handicaps führen würde, werden hierfür die gemessenen Polaren von der idaflieg und dem DLR herangezogen. Über die letzten Jahrzehnte, angefangen 1961, wurde ein Großteil der heutigen Segelflugzeuge mit großem Aufwand vermessen und katalogisiert. Flugzeuge, welche noch nicht vermessen wurden, werden anhand der Erfahrungen der bisherigen Konstruktionen und weiteren Abschätzungen einsortiert. Diese Werte liegen meistens nicht so falsch, werden aber nach dem Vorliegen von Vermessungsdaten angepasst.

3.2 Einfluss der Flächenbelastung auf die Polare

Die Flächenbelastung hat auf die Leistung eines Segelflugzeuges einen entscheidenden Einfluss. Da bei fast allen Segelflugzeugen die Flügelfläche im Flug konstant ist, ist der einzige Faktor hierfür das Abfluggewicht. Durch verschiedene Pilotengewichte und Ballast kann dieses Gewicht variieren. Über die letzten Jahrzehnte wurden ältere Flugzeuge teilweise deutlich schwerer, was zu Auflastungen führte. Diese Auflastungen sind in der bisherigen Handicap-Liste nicht erfasst, so fliegen einige Muster in der Wertung mit demselben Wertungsfaktor, obwohl die Flächenbelastung mittlerweile um 10 Prozent variiert.

$$V_{FB_{neu}} = \sqrt{\frac{FB_{neu}}{FB_{alt}}} * V_{FB_{alt}} \quad (3.2.1)$$

$$w_{S,FB_{neu}} = \sqrt{\frac{FB_{neu}}{FB_{alt}}} * w_{S,FB_{alt}} \quad (3.2.2)$$

In Abb. 3.1 ist die Verschiebung der Polaren für das Vermessungsergebnis der ASW19B aus dem Jahre 1980 aufgetragen. Hierbei wurde von dem Vermessungsergebnis mit 32kg/m²m Flächenbelastung auf das maximal mögliche Abfluggewicht mit 41kg/m²m hochgerechnet, um den Einfluss auf die Polare darstellen zu können. Die maximale Flächenbelastung ist jedoch in der Club-Klasse durch die Berechnung des Referenzgewichtes in [8] begrenzt. Abb. 3.1 stellt nur den maximalen Effekt bei maximalem Abfluggewicht bei der ASW19 dar.

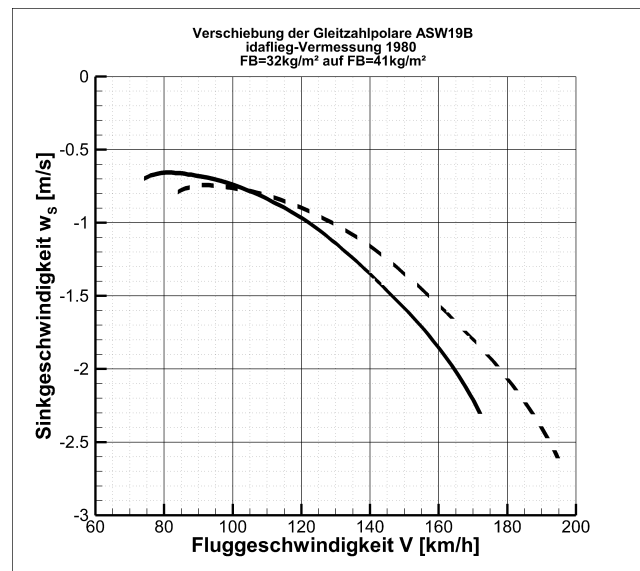


Abb. 3.1: Polarenverschiebung durch Änderung der Flächenbelastung

Die bisherige Rechnung berücksichtigt die Verschiebung der Polaren in Richtung schnellerer Geschwindigkeiten, jedoch bleibt die Flugleistung als Betrag der maximalen Gleitzahl nach dieser Berechnungsmethode gleich. Nach dieser Rechnung lohnt sich in den bisherigen Wettermodellen auch keine Mitnahme von hohem Wasserballast, wenn von einer niedrigen Flächenbelastung auf eine hohe Flächenbelastung umgerechnet wird. Dies widerspricht

den aktuellen Erkenntnissen und Wettbewerbstaktiken. Um diesen positiven Einfluss bei Erhöhung der Flächenbelastung einzurechnen, wurde die Vermessung eines Cirrus herangezogen, welcher bei verschiedenen Flächenbelastungen vermessen wurde. Der Faktor, welcher hieraus berechnet wurde, wird bei der Bestimmung der Überlandgeschwindigkeit eingerechnet. Dadurch erhöht oder verringert sich die berechnete Überlandgeschwindigkeit, wenn die Flächenbelastung der Rechnung von der Flächenbelastung der Messung abweicht.

Dieser Effekt der Leistungssteigerung durch Erhöhung der Flächenbelastung wird bereits in [5] kurz erwähnt, ist bis jetzt aber nicht in die Rechnungen eingeflossen.

$$FB_{Faktor} = 1.00409 * \frac{FB_{neu} - FB_{alt}}{10} \quad (3.2.3)$$

$$V_{R,Re} = FB_{Faktor} * V_R \quad (3.2.4)$$

Dies Erhöht die mit neuer Flächenbelastung berechnete Überlandgeschwindigkeit pro zehn Kilo/Quadratmeter Abweichung von der Flächenbelastung in der Vermessung um 0,41%. Dieser Wert wurde absichtlich niedrig angesetzt, da jedes Muster mit einem anderen Profil verschieden auf diese Reynoldszahlveränderung reagiert. Da sich in der Clubklasse jedoch die meisten Flugzeuge sehr nahe an der Flächenbelastung befinden, mit welcher das jeweilige Flugzeug vermessen wurde, ist der Einfluss für jedes Muster gering. Den stärksten Einfluss hätte dieser Faktor auf den Cirrus, mit welchem dieser Wert auch ermittelt wurde, da die früher vermessene Flächenbelastung stark von der in der Handicap-Rechnung benutzten Flächenbelastung abweicht. Jedoch ist durch die neue Vermessung von 2011 eine vermessene Polare mit der benutzten Flächenbelastung vorhanden, welche für den neuen Wertungsfaktor benutzt wurde.

3.3 Verringerung der Spreizung des Handicaps

Der Abstand zwischen den berechneten Überlandfluggeschwindigkeiten ist größer, bedingt durch das neue Thermikmodell und den daraus resultierenden höheren Geschwindigkeiten. Hierbei wird jedoch jedes Flugzeug einzeln betrachtet. Der Effekt von mehreren Flugzeugen aufeinander, kann nur abgeschätzt werden. Es wird angenommen, dass sowohl ein schnelleres Flugzeug langsamer unterwegs ist und ein langsames Flugzeug schneller unterwegs ist, wenn diese gemeinsam Wettbewerb fliegen. Dieses Problem ist den vielen verschiedenen Leistungsklassen geschuldet, welche in einer Handicap-Klasse gegeneinander antreten. Um diesem Effekt angenähert Rechnung zu tragen, wurde ein Faktor gesucht, um die bisherige Spreizung des Handicap-Faktors nicht zu überschreiten, sondern eher zu verringern. Um auf einen vernünftigen Handicap-faktor zu kommen, wird der auf dem bisherigen Weg berechnete Handicapfaktor radiziert. Dies verringert die bisherige Spreizung auf 70%.

$$H = \frac{V_{R,Re,X}}{V_{R,Re,ASW19}} \quad (3.3.1)$$

$$H_{neu} = \sqrt{H} \quad (3.3.2)$$

Damit verringert sich die Spreizung der genutzten Wertungsfaktoren gleichmäßig über alle Flugzeuge.

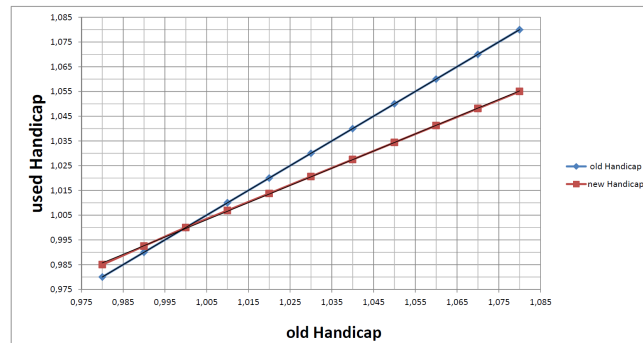


Abb. 3.2: Vergleich der Spreizung im Handicap-System

3.4 Berechnungsverfahren im Wettermodell

Die Berechnung der Überlandgeschwindigkeit wird für jeden Streckenabschnitt mit seiner Thermikart einzeln durchgeführt. Dabei wird das Steigen in der jeweiligen Thermik berechnet und mit dem dazugehörigen McCready-Wert die Vorfluggeschwindigkeit ermittelt. Als Grundlage für diese Berechnung wird vermessene Polare verwendet, welche auf die für die Wertung benutzte Flächenbelastung nach Reichmann umgerechnet.

Die Berechnung verläuft wegen dem realen Verlauf der Polaren iterativ. In der Thermik

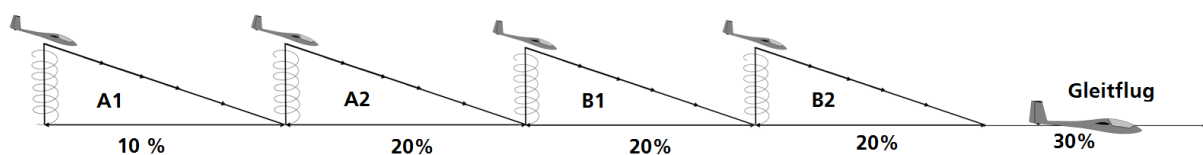


Abb. 3.3: Rechenabschnitte des Wettermodells

wird für verschiedene Schräglagen mit einer Geschwindigkeit knapp unterhalb des geringsten Sinkens das optimale Steigen berechnet. Danach wird die Vorfluggeschwindigkeit nach McCready bestimmt. Diese Rechnung ergibt dann eine maximale Überlandfluggeschwindigkeit in der jeweiligen Thermikart. Die Zeit, welche für den jeweiligen Streckenabschnitt benötigt wird, wird mit den Zeiten der anderen Thermiken und dem Geradeausfluganteil addiert und ergibt eine mittlere Geschwindigkeit über die Gesamtstrecke.

3.4.1 Berechnung in der Thermik

Alle vier Thermikarten werden nach demselben Schema berechnet. Dazu wird aus der Polaren eine Geschwindigkeit für das Fliegen in der Thermik bestimmt. Außerdem wird die Minimalgeschwindigkeit als Sicherheitsgeschwindigkeit beachtet, welche nicht unterschritten werden darf. Die Geschwindigkeit des geringsten Sinkens bei aktueller Flächenbelastung wird aus der Polaren bestimmt. Die Geschwindigkeit auf der Geradeausflugpolaren

zur Umrechnung für das Kreisen in der Thermik berechnet sich aus:

$$V_{K_{Geradeausflug}} = \frac{(V_{Minimal} + 2V_{minSinken})}{3} \quad (3.4.1)$$

Die Sinkgeschwindigkeit an dieser Stelle wird in der Geradeausflugpolaren ermittelt:

$$w_{K_{Geradeausflug}} = w_S(V_{K_{Geradeausflug}}) \quad (3.4.2)$$

Die Umrechnung in die Beiwerte erfolgt dann auf die übliche Weise:

$$C_{A_K} = \frac{mg}{\frac{\rho}{2} V_{K_{Geradeausflug}}^2 S} \quad (3.4.3)$$

$$C_{W_K} = \frac{C_{A_K}}{E_K} = \frac{C_{A_K}}{\frac{V_{K_{Geradeausflug}}}{w_{K_{Geradeausflug}}}} \quad (3.4.4)$$

Die Aufwindgeschwindigkeit in der Thermik an der Stelle des Radius r berechnet sich zu :

$$w_A(r) = a + rb^2 \quad (3.4.5)$$

Der Radius des Kreises hängt von dem geflogenen Hängewinkel des Flugzeuges ab. Die vorher berechnete Kurbelgeschwindigkeit aus der Geradeausflugpolaren wird zwar benutzt, verschiebt sich im Kreisflug jedoch zu höheren Geschwindigkeiten, da die tatsächliche Flächenbelastung während des Kreisfluges in Anhängigkeit von der Schräglage und den daraus resultierenden Beschleunigungskräften ansteigt. Zu diesem Zweck wird die Geschwindigkeitspolare aus der Vermessung in die Beiwertpolare überführt. Der Auftriebsbeiwert kann nun nach [5] umgerechnet werden in die dazugehörige Kreisfluggeschwindigkeit.

$$V_K(\phi) = \sqrt{\frac{2G}{\rho S} \frac{1}{C_{A_K} \cos \phi}} \quad (3.4.6)$$

Der zur Kurbelgeschwindigkeit aus der Geradeausflugpolare dazugehörige Widerstandsbeiwert kann dann nach [5] umgerechnet werden in die Sinkgeschwindigkeit im Kreisflug:

$$w_{SK}(\phi) = \sqrt{\frac{2G}{\rho S} \frac{C_{W_K}}{C_{A_K}^{3/2} \cos \phi^{3/2}}} \quad (3.4.7)$$

Der Zusammenhang von Hängewinkel und Kreisradius berechnet sich wie folgt:

$$\phi = \arctan \frac{V_K^2}{gr} \quad (3.4.8)$$

Durch Umrechnung in die Beiwert-Schreibweise und den Zusammenhang von Hängewinkel und Kreisradius sind nunmehr beide benötigten Formeln, die Sinkgeschwindigkeit in der Thermik und die Aufwindgeschwindigkeit in der Thermik vom Kreisradius abhängig und die maximale Steiggeschwindigkeit kann durch eine iterative Schleife bestimmt werden:

$$w_{St}(r) = w_A(r) + w_{SK}(r) \quad (3.4.9)$$

Dabei wird der bestmögliche Hängewinkel berechnet, welcher für die örtliche Aufwindgeschwindigkeit und das dazugehörige Sinken durch den Kreisflug das größte Steigen ermöglicht.

Dieser Wert gilt für dieses Flugzeug mit der gewählten Flächenbelastung in dieser Thermikart und wird für die Vorfluggeschwindigkeitsberechnung nach McCready benutzt. Die Dauer des Kreisens in der Thermik ist abhängig von der Vorfluggeschwindigkeit, welche im nachfolgenden Teil berechnet wird.

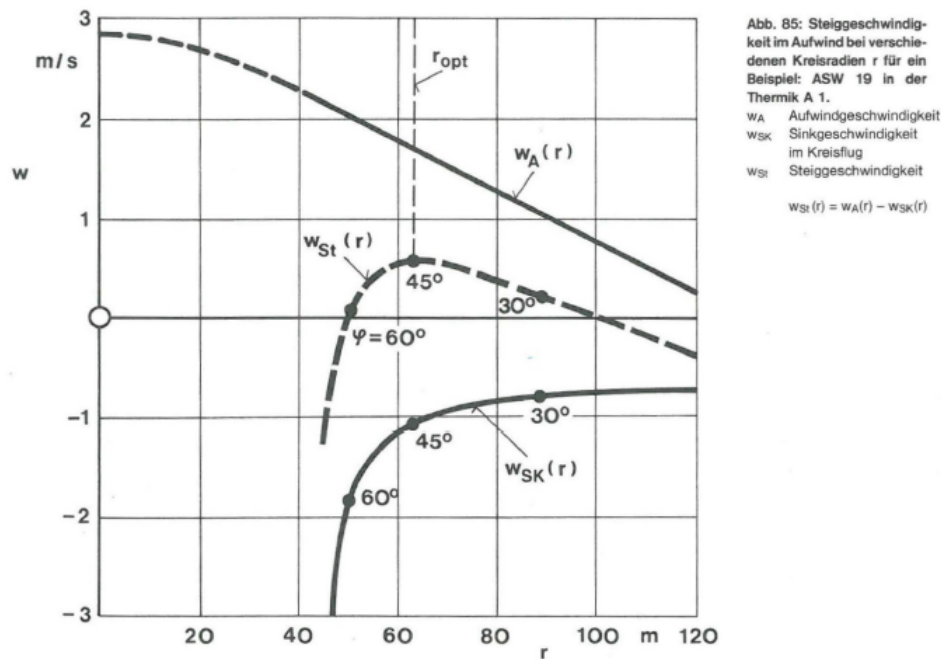


Abb. 3.4: Sink-, Aufwind- und Steiggeschwindigkeit aus Thomas [5]

3.4.2 Berechnung der Vorfluggeschwindigkeit

Die Berechnung der Vorfluggeschwindigkeit basiert auf der für die jeweilige Thermikart bestimmten Steiggeschwindigkeit. Als erste Einschränkung wird hierbei angenommen, dass bei der gewählten Steiggeschwindigkeit für den nächsten Aufwind nur 80 Prozent der vorher berechneten Steiggeschwindigkeit verwendet wird. Dies erscheint nicht völlig praxisfremd und ist in [1] bereits diskutiert worden. Die geflogenen Vorfluggeschwindigkeiten halten sich damit in Grenzen, und zeigen auch in dieser Rechnung vernünftige Werte unterhalb von 200 km/h.

Die Lösung erfolgt durch grafische Methode nach [7], siehe Seite 270. Dabei wird die Vermessungspolare auf die neue Flächenbelastung umgerechnet und die Tangente bestimmt. Dies ergibt eine Geschwindigkeit, abhängig von der erreichten Steiggeschwindigkeit in der vorher berechneten Thermikart.

Aus der Vorfluggeschwindigkeit in der jeweiligen Thermikart wird die Zeit berechnet werden, welche auf dem jeweiligen Streckenabschnitt benötigt wurde, zu welcher natürlich auch die Zeit addiert wird, welche in der Thermik verbracht werden musste, um die Höhe auf diesem Gleitflug zu erkurbeln.

Die Zeit zum Steigen in der Thermik ist abhängig von der Vorfluggeschwindigkeit, da angenommen wird, dass die benötigte Höhe zum Durchfliegen der anteiligen Strecke mit dem jeweiligen Steigen gewonnen werden muss:

$$t_{\text{Steigen}} = \frac{\frac{\text{Anteil} \cdot D}{E_{\text{Vorflug}}}}{w_{St}} \quad (3.4.10)$$

Die Vorfluggeschwindigkeit wird mit der bestmöglichen Steiggeschwindigkeit in der Ther-

mik berechnet nach McCready. Aus dieser Vorfluggeschwindigkeit kann mit der anteiligen Strecke die benötigte Zeit berechnet werden:

$$t_{Vorflug} = \frac{\text{Anteil} * D}{V_{Vorflug}} \quad (3.4.11)$$

Für jede Thermikart X und deren anteiliger Strecke kann jetzt die Zeit berechnet werden, die das Flugzeug zum Durchfliegen benötigt:

$$t_X = t_{Steigen,X} + t_{Vorflug,X} \quad (3.4.12)$$

3.4.3 Berechnung der Gleitgeschwindigkeit

Die Gleitgeschwindigkeit ist ein Aspekt, der von Stefan Ronig in [1] eingeführt wurde. Hierbei soll verstärkt der längere Endanflug ohne Thermikkreisen und längere Geradeausfluganteile unter Wolkenstraßen oder Konvergenzlinien eingehen. Dieses SSchwabbelnßoll in dieser Definition im unteren Geschwindigkeitsbereich geschehen. Deswegen wurde dieser Teil so definiert, dass die Geschwindigkeit auf der Polaren gesucht wird, welche bei einem durchschnittlichen Steigen im Geradeausflug von 0.8m/s dem Eigensinken entspricht. Damit werden trotz der schnelleren Geschwindigkeiten in diesem Wettermodell auch Bereiche in der Nähe des besten Gleitens wichtig. Das dieser Flugzustand nicht ungewöhnlich ist, zeigen diverse Flugaufzeichnungen und Pilotenberichte.

Berechnet wird hierbei mit der Geschwindigkeit bei 0,8m/s Eigensinken die benötigte Zeit auf diesem Streckenabschnitt:

$$V_{Gl} = V(w_S = -0.8m/s) \quad (3.4.13)$$

$$t_{Gl} = \frac{\text{Anteil}_{Gl} * D}{V_{Gl}} \quad (3.4.14)$$

3.4.4 Überlandfluggeschwindigkeit

Die Überlandgeschwindigkeit aller Thermikarten und des Geradeausfluges wird berechnet, indem die für jeden Streckenabschnitt benötigte Zeit addiert wird. Die Gesamtstrecke geteilt durch die benötigte Zeit ergibt die mittlere Überlandgeschwindigkeit:

$$V_R = \frac{D}{t_{A1} + t_{A2} + t_{B1} + t_{B2} + t_{Gl}} \quad (3.4.15)$$

Um den in 3.2 erwähnten Effekt der Verbesserung der Fugleistung mit steigender Flächenbelastung einzubeziehen, wird die ermittelte Überlandfluggeschwindigkeit mit dem Faktor aus 3.2 multipliziert.

Für die ASW19B errechnet sich eine Überlandfluggeschwindigkeit von 96.89 km/h mit dem FB-Faktor von 1.0037181 den Werten aus der Tabelle:

Thermikart	A1	A2	B1	B2	GL	Einheit
Steiggeschwindigkeit	1.21	2.0	3.39	4.33	0.8	[m/s]
Kreisradius	85.75	79.41	77.97	76.73	-	[m]
Hängewinkel	36.09	39.5	40.38	41.17	-	[Grad]
Vorfluggeschwindigkeit	125.47	134.1	159.1	168.1	106.7	[km/h]
Flugzeit	26.68	42.96	34.54	31.65	50.62	[Minuten]

Zum Vergleich die Werte der ASW24 mit einer Überlandfluggeschwindigkeit von 106.28km/h und einem FB-Faktor von 1.014315:

Thermikart	A1	A2	B1	B2	GL	Einheit
Steiggeschwindigkeit	1.234	2.01	3.39	4.33	0.8	[m/s]
Kreisradius	89.51	83.22	81.79	80.58	-	[m]
Hängewinkel	38.15	41.64	42.53	43.33	-	[Grad]
Vorfluggeschwindigkeit	124.0	161.65	180.04	186.22	116.465	[km/h]
Flugzeit	25.22	39.41	31.72	29.08	46.37	[Minuten]

4 Neue Handicap-Faktoren

Die in den vorherigen Kapiteln dargestellten Rechnungen wurden für alle Flugzeuge in der Clubklasse durchgeführt. Wenige Flugzeuge, für die keine Vermessungsdaten vorlagen, wurden per Hand einsortiert. Um dies zu erkennen, wurde in der Liste vermerkt, für welche Flugzeuge Vermessungsdaten vorliegen.

Der berechnete Handicap-Faktor wurde auf die ASW19/B bezogen, welcher für die ASW19 deswegen 1.00 beträgt.

4.1 Vergleich mit den bisherigen Faktoren

Die neuen Wertungsfaktoren wurden sind gemeinsam mit den benutzten Rechenwerten in der nachfolgenden Liste eingetragen.

neues Handicap	Glider Type	Flaps	Max. mass of non lifting Parts [kg]	Wing area [m ²]	Reference Mass [kg]	WL [kg/m ²]	Old Handicap	Polare aus Vermessung
1,055	ASW20 15m	f	235	10,5	372	25,4	1,08	x
1,05	ASW24		245	10	365	36,5	1,07	x
1,045	Discus a,b,CS		240	10,58	372	34,7	1,07	x
1,045	Mosquito „B	f	240	9,86	368	37,3	1,07	x
1,04	LS3 , a	f	230	10,5	367	35	1,07	x
1,04	DG200 15m	f	250	10	380	38	1,07	x
1,04	Mini Nimbus	f	240	9,86	368	37,3	1,07	x
1,04	Genesis 2		241	11,15	366	32,8	1,07	-
1,04	Speed Astir II,III	f	260	11,47	400	34,9	1,06	x
1,03	LS7		235	9,8	353	36	1,06	x
	Glasflügel							
1,025	304, B, HPH 304 CZ 15m	f	240	9,9	369	37,3	1,07	x
1,025	PIK 20 A	f	250	10	380	38	1,03	x
1,025	LS4, a, b		230	10,5	356	33,9	1,04	x
1,02	PIK 20 B	f	240	10	370	37	1,03	x
1,02	SZD 55-1		248	9,6	363	37,8	1,06	x
1,02	CB-15		240	9,77	350	35,8	1,05	-
1,02	CRYSTAL		240	9,77	350	35,8	1,05	-
1,02	SZD 59 ACRO		248	9,6	363	37,8	1,02	-
1,02	H301 Libelle	f	200	9,8	315	32,1	1,02	x
1,02	HPH 304 C		240	9,9	359	36,3	1,04	x
1,015	DG300 Elan		246	10,27	369	35,9	1,04	x
1,015	PEGASE 101 A,B,C,D,P,AP		225-235	10,5	361	34,4	1,03	x
1,015	PIK 20 D	f	225	10	355	35,5	1,03	-
1,01	Janitar Std. 3		245	10,66	373	35	1,01	x
1,01	SZD-48-3M		240	10,9	360	33	1,01	-
1,01	SZD-48-3MII		240	10,66	365	34,2	1,01	-
1,005	Janitar Std. 2, 2M		245	10,66	373	35	1,01	x
1,005	Std. Cirrus B 16m		220-233	10,36	350	33,8	1,02	x
1,005	Hornet C		225	9,8	343	35	1	x
1,005	LS 1f, 1S 1f(4s)		230	9,75	347	35,6	1,01	x
1	ASW19 , B		225-230	11	362	32,9	1,01	x
1	DG 100, G, Elan, G		265	11	385	35	1	x
1	Janitar Std.		236	10,66	364	34,1	1	x
1	Std. Cirrus, CS11-75, G		220-240	10,04	361	36	1	x
0,995	ASW 15, B		220	11	352	32	0,98	x
0,99	LS 1 0,a,b,c,d		212	9,74	312	32	0,98	x
0,985	Std. Libelle , 2018, 202, 203		210	9,8	328	33,5	0,98	x

Abb. 4.1: Liste der neuen Handicapfaktoren

Jedes Flugzeug, für welches Vermessungsdaten vorliegen, wurde neu berechnet und mit

dem angegebenen Fluggewicht berechnet. Eine Verschiebung gegenüber der bisherigen Liste kann dabei folgende Gründe haben:

- Anderes Verhalten im neuen Wettermodell
- Betrachtung der Polaren mit tatsächlicher Flächenbelastung
- Neuere Vermessungsdaten
- Neue Einstufung wegen fehlender Vermessungsdaten

Dabei bleibt die bisherige Rechnung bei Abweichungen von dem Referenzgewicht oder durch Anbauten von Winglets in der IGC-Handicap Regelung unberührt. Bei nachträglichem Anbau von Winglets wird der Handicapfaktor mit 0.005 addiert, bei Abweichungen von der Referenzmasse wird pro angefangene 10kg 0.005 addiert, bei geringerem Gewicht ab 10kg 0.004 subtrahiert, wie in [8] beschrieben. Dabei bleibt anzumerken, daß ebenfalls wie in [8] beschrieben die Grenzen der maximalen und minimalen Handicapfaktoren nicht über- oder unterschritten werden dürfen.

4.2 Anpassung der Faktoren in der Zukunft

Der aktuelle Mißstand, dass Flugzeuge wegen ihrer Einsortierung über einen langen Zeitraum bevorzugt werden, sollte in der Zukunft vermieden werden.

Keine Handicap-Wertung kann so gerecht sein, dass kein Flugzeug bevor- oder benachteiligt wird. Deswegen sollte in regelmäßigen Abständen die Einordnung überprüft und anhand von Wettbewerbsergebnissen angepasst werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Flugzeugeinfluss nicht der einzige Faktor ist. Gute Piloten abzustrafen, weil sie mit ihrem Flugzeug gute Leistungen erbringen kann nicht das Ziel sein. Vielmehr sollte beobachtet werden, dass keine Flugzeugklasse dominierend das Wettbewerbsgeschehen beeinflusst und durch nachträgliche Änderungen, wie die bisher geschehenen Auflastungen ohne Handicap-Anpassungen, bevorteilt wird.

Gerade bei Systemumstellungen, wie in dieser Arbeit vorgeschlagen, sollte besonders am Anfang das Wertungssystem beobachtet werden, um rechtzeitige Anpassungen vornehmen zu können.

5 Einfluss auf Wettbewerbsergebnisse

Um den Einfluss auf Wettbewerbsergebnisse aufzuzeigen und ungewollte bzw. unsportliche Auswirkungen auszuschließen, wurde ein Wettbewerb komplett nachgerechnet. Dabei wurden die Ergebnisse nachträglich mit den veränderten Handicap-Werten aus dieser Arbeit bestimmt. Dabei sei angemerkt, dass dies eine rein theoretische Neubetrachtung ist! Die Ergebnisse in Wettbewerben unterliegen einem großen psychologischen Einfluss, bei dem besonders unter den ersten Plätzen taktisch in Abhängigkeit von der aktuellen Platzierung geflogen wird. Keinem Piloten soll nachträglich die Leistung abgesprochen werden. Die gerechneten Werte dienen lediglich dazu, zu überprüfen, ob ein starker Einfluss auf Wettbewerbsergebnisse in der Zukunft zu erwarten ist.

5.1 EM Rieti

Der Einfluss bei der Nachrechnung dieses einen Wettbewerbes ist relativ gering. Die Platzierungen werden nicht stark vertauscht, jedoch rutschen alle Plätze deutlich dichter zusammen. Wie zu erwarten war, nimmt durch die Reduzierung der Spreizung der Punkteabstand zwischen dem ersten und dem letzten Platz ab. Besonders die moderneren Flugzeuge bekommen mehr Punkte, was jedoch an dem Gesamtergebnis keine starke Veränderung der Platzierung verursacht. Unter den ersten Plätzen gibt es Veränderungen, jedoch bleibt der Punkteabstand wie vorher sehr knapp.

	Name	Muster	Handicap		Tag 1		Tag 2		Tag 3		Tag 4		Tag 5		Tag 6		Tag 8		Tag 9		Tag 10		Summe		Punkte Delta	Platz Neu
			neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt		
1	D.	Std. Cirrus	1	1	885	893	884	910	880	889	904	919	786	789	572	571	1000	1000	667	668	703	702	7281	7341	-60	2
2	L.	Std. Cirrus	1	1	883	890	877	903	887	896	922	937	789	793	574	573	942	943	664	664	704	703	7241	7302	-61	3
3	K.	LS1f	1,005	1,01	887	887	907	925	908	908	892	898	900	896	595	575	896	873	691	686	615	608	7292	7256	36	1
4	D.	Std. Libelle	0,99	0,99	923	931	796	820	912	922	985	1000	994	998	558	560	742	759	573	573	554	554	7037	7117	-80	4
5	G.	Std. Cirrus	1	1	869	877	847	873	962	971	814	828	844	847	601	600	964	937	678	678	448	447	7027	7058	-31	5
6	S.	Pik20A	1,025	1,03	1000	1000	861	878	1000	1000	969	975	552	549	531	521	891	865	533	530	672	665	7009	6983	26	6
7	S.	ASW15b	0,995	0,98	810	841	717	766	904	943	818	859	853	878	572	585	806	852	646	661	550	571	6676	6956	-280	7
8	Z.	Std. Cirrus	1	1	889	897	931	958	935	945	946	961	763	766	574	573	331	331	702	702	595	595	6666	6728	-62	9
9	N.	Cirrus G	1	1	841	848	888	914	957	957	848	853	854	858	550	550	530	530	681	681	525	525	6674	6716	-42	8
10	M.	Std. Cirrus	1	1	889	897	970	998	909	918	930	945	806	809	553	553	515	515	372	366	695	695	6640	6696	-56	10
11	J.	H301	1,02	1,02	781	788	681	704	939	948	786	800	784	787	548	544	835	855	646	647	514	514	6514	6587	-73	11
12	K.	Std. Libelle	0,99	0,99	337	334	656	678	806	815	875	890	996	1000	591	586	878	850	479	479	692	692	6310	6324	-14	12
13	S.	Std. Cirrus CS	1	1	890	898	886	912	714	723	942	957	291	288	601	601	452	452	675	676	808	808	6259	6315	-56	15
14	U.	Std. Cirrus	1	1	883	891	921	947	792	801	864	878	277	274	567	554	928	888	240	237	806	806	6278	6276	2	13
15	M.	LS4	1,025	1,04	321	313	1000	1000	993	974	964	951	1000	981	565	530	707	703	299	290	429	411	6278	6153	125	13
16	B.	LS4	1,025	1,04	804	790	813	813	763	746	940	928	666	651	473	458	899	853	298	289	610	589	6267	6117	150	14
17	D.	ASW19b	1	1,01	843	835	720	727	774	765	1000	996	698	688	542	537	318	315	297	290	654	639	5846	5792	54	16
18	S.	LS1f	1,01	1,02	859	852	355	350	927	898	849	845	274	269	516	504	845	821	683	673	586	566	5894	5778	116	17
19	R.	ASW19b	1	1,01	335	328	643	650	815	806	860	856	974	962	594	575	450	446	493	486	663	648	5827	5757	70	18
20	P.	LS7	1,03	1,06	810	775	734	711	996	949	0	0	235	226	524	492	315	307	241	231	687	644	4543	4335	208	19

Abb. 5.1: Nachrechnung Rieti 2015

6 Zusammenfassung

Es wird ein neues Wettermodell vorgestellt und erklärt. Das bisherige Wettermodell simuliert das Wettergeschehen auf einem ganztägigen Flug in einem dezentralen Wettbewerb wie der DMSt. Aus diesem Grund wurde das Wettermodell geändert und an die Situation eines guten Wettbewerbstages angepasst. Zudem wurde die Modellierung der Thermik auf einen quadratischen Ansatz geändert, da sich in Optimierungsrechnungen dies als teilweise hinderlich erwiesen hat, siehe [6].

Um die bisherigen Wertungsfaktoren in der Club-Klasse anzupassen, wurde mit dem neuen Wettermodell eine neue Liste erstellt. Dabei wurde darauf geachtet, dass sämtliche Flugzeuge mit ihrem erlaubten Gewicht gerechnet und verglichen wurden. Zusätzlich wurde ein Faktor eingeführt, der bei zu starker Abweichung des Fluggewichtes vom Vermessungsgewicht einen Aufschlag vorsieht, um dem Einfluss der Verbesserung der Flugleistung durch höhere Flächenbelastungen und veränderter Reynoldszahlen Rechnung zu tragen.

Die berechneten Überlandfluggeschwindigkeiten wurden mit dem Ergebnis der ASW19 normiert. Durch das neue Rechenverfahren vergrößert sich jedoch die Spreizung, was durch einen Faktor korrigiert wurde. Die Spreizung der neuen Wertungsfaktoren wurde im Vergleich zu den alten Handicap-Faktoren verringert. Um den Einfluss dieser Änderung auf zukünftige Wettbewerbsergebnisse abschätzen zu können, wurde ein Wettbewerb komplett nachgerechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass zwar neuere Muster mehr Punkte bekommen als zuvor, die Platzierungen jedoch nicht völlig verändert werden. Der Anreiz, auch mit neueren Flugzeugen an dieser Wettbewerbsklasse teilzunehmen, sollte hierdurch allerdings gegeben sein.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Aufteilung der Gesamtstrecke im Wettermodell nach Ronig [1]	2
2.2	Aufteilung der Gesamtstrecke im neuen Wettermodell	2
2.3	Verlauf der Aufwindgeschwindigkeiten über dem Thermikradius	4
3.1	Polarenverschiebung durch Änderung der Flächenbelastung	6
3.2	Vergleich der Spreizung im Handicap-System	8
3.3	Rechenabschnitte des Wettermodells	8
3.4	Sink-,Aufwind- und Steiggeschwindigkeit aus Thomas [5]	10
4.1	Liste der neuen Handicapfaktoren	13
5.1	Nachrechnung Rieti 2015	15

Tabellenverzeichnis

2.1	Neues Wettermodell	3
2.2	Wettermodell nach Ronig [1]	3

Anhang

neues Handicap	Glider Type	Flaps	Max. mass of non lifting Parts [kg]	Wing area [m ²]	Reference Mass [kg]	WL [kg/m ²]	Old Handicap	Polare aus Vermessung
1,055	ASW20 15m	f	235	10,5	372	35,4	1,08	x
1,05	ASW24		245	10	365	36,5	1,07	x
1,045	Discus a,b,CS		240	10,58	372	34,7	1,07	x
1,045	Mosquito ,B	f	240	9,86	368	37,3	1,07	x
1,045	LS3 , a	f	230	10,5	367	35	1,07	x
1,04	DG200 15m	f	250	10	380	38	1,07	x
1,04	Mini Nimbus	f	240	9,86	368	37,3	1,07	x
1,04	Genesis 2		241	11,15	366	32,8	1,07	-
1,04	Speed Astir II,IIb	f	260	11,47	400	34,9	1,06	x
1,03	LS7		235	9,8	353	36	1,06	x
1,025	Glasflügel 304, B, HPH 304 CZ 15m	f	240	9,9	369	37,3	1,07	x
1,025	PIK 20 A	f	250	10	380	38	1,03	x
1,025	LS4, a, b		230	10,5	356	33,9	1,04	x
1,02	PIK 20 B	f	240	10	370	37	1,03	x
1,02	SZD 55-1		248	9,6	363	37,8	1,06	x
1,02	CB-15 CRYSTAL		240	9,77	350	35,8	1,05	-
1,02	SZD 59 ACRO		248	9,6	363	37,8	1,02	-
1,02	H301 Libelle	f	200	9,8	315	32,1	1,02	x
1,02	HPH 304 C		240	9,9	359	36,3	1,04	x
1,015	DG300 Elan		246	10,27	369	35,9	1,04	x
1,015	PEGASE 101 A,B,C,D,P,AP		225-235	10,5	361	34,4	1,03	x
1,015	PIK 20 D	f	225	10	355	35,5	1,03	-
1,01	Jantar Std. 3		245	10,66	373	35	1,01	x
1,01	SZD-48-3M		240	10,9	360	33	1,01	-
1,01	SZD-48-3MI		240	10,66	365	34,2	1,01	-
1,005	Jantar Std. 2, 2M		245	10,66	373	35	1,01	x
1,005	Std. Cirrus B 16m		220-233	10,36	350	33,8	1,02	x
1,005	Hornet C		225	9,8	343	35	1	x
1,005	LS 1f, LS 1f(45)		230	9,75	347	35,6	1,01	x
1	ASW19 , B		225-230	11	362	32,9	1,01	x
1	DG 100, G, Elan, G		265	11	385	35	1	x
1	Jantar Std.		236	10,66	364	34,1	1	x
1	Std. Cirrus, CS11-75, G		220-240	10,04	361	36	1	x
0,995	ASW 15, B		220	11	352	32	0,98	x
0,99	LS 1 0,a,b,c,d		212	9,74	312	32	0,98	x
0,985	Std. Libelle , 201B, 202, 203		210	9,8	328	33,5	0,98	x

Name	Muster	Handicap		Tag 1		Tag 2		Tag 3		Tag 4		Tag 5		Tag 6		Tag 8		Tag 9		Tag 10		Summe		Punkte		Platz
		neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	neu	alt	
1 D.	Std. Cirrus	1	1	885	893	884	910	880	889	904	919	786	789	572	571	1000	1000	667	668	703	702	7281	7341	-60	2	
2 L.	Std. Cirrus	1	1	883	890	877	903	887	896	922	937	789	793	574	573	942	943	664	664	704	703	7241	7302	-61	3	
3 K.	LS1f	1,005	1,01	887	887	907	925	908	908	892	898	900	896	595	575	896	873	691	686	615	608	7292	7256	36	1	
4 D.	Std. Libelle	0,99	0,99	923	931	796	820	912	922	985	1000	994	998	558	560	742	759	573	573	554	554	7037	7117	-80	4	
5 G.	Std. Cirrus	1	1	869	877	847	873	962	971	814	828	844	847	601	600	964	937	678	678	448	447	7027	7058	-31	5	
6 S.	Pik20A	1,025	1,03	1000	1000	861	878	1000	1000	969	975	552	549	531	521	891	865	533	530	672	665	7009	6983	26	6	
7 S.	ASW15b	0,995	0,98	810	841	717	766	904	943	818	859	853	878	572	585	806	852	646	661	550	571	6676	6956	-280	7	
8 Z.	Std. Cirrus	1	1	889	897	931	958	935	945	946	961	763	766	574	573	331	331	702	702	595	595	6666	6728	-62	9	
9 N.	Cirrus G	1	1	841	848	888	914	957	957	848	853	854	858	550	550	530	530	681	681	525	525	6674	6716	-42	8	
10 M.	Std. Cirrus	1	1	889	897	970	998	909	918	930	945	806	809	553	553	515	515	372	366	695	695	6640	6696	-56	10	
11 J.	H301	1,02	1,02	781	788	681	704	939	948	786	800	784	787	548	544	835	855	646	647	514	514	6514	6587	-73	11	
12 K.	Std. Libelle	0,99	0,99	337	334	656	678	806	815	875	890	996	1000	591	586	878	850	479	479	692	692	6310	6324	-14	12	
13 S.	Std. Cirrus CS	1	1	890	898	886	912	714	723	942	957	291	288	601	601	452	452	675	676	808	808	6259	6315	-56	15	
14 U.	Std. Cirrus	1	1	883	891	921	947	792	801	864	878	277	274	567	554	928	888	240	237	806	806	6278	6276	2	13	
15 M.	LS4	1,025	1,04	321	313	1000	1000	993	974	964	951	1000	981	565	530	707	703	299	290	429	411	6278	6153	125	13	
16 B.	LS4	1,025	1,04	804	790	813	813	763	746	940	928	666	651	473	458	899	853	298	289	610	589	6267	6117	150	14	
17 D.	ASW19b	1	1,01	843	835	720	727	774	765	1000	996	698	688	542	537	318	315	297	290	654	639	5846	5792	54	16	
18 S.	LS1f	1,01	1,02	859	852	355	350	927	898	849	845	274	269	516	504	845	821	683	673	586	566	5894	5778	116	17	
19 R.	ASW19b	1	1,01	335	328	643	650	815	806	860	856	974	962	594	575	450	446	493	486	663	648	5827	5757	70	18	
20 P.	LS7	1,03	1,06	810	775	734	711	996	949	0	0	235	226	524	492	315	307	241	231	687	644	4543	4335	208	19	

Literaturverzeichnis

- [1] Ronig, Stefan (1995). Überarbeitung des Indexsystems für Segelflugzeuge zur Verbesserung der Chancengleichheit auf Wettbewerben mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit
Studienarbeit, Inst. f. Entwurfsaerodynamik, DLR Braunschweig.
- [2] Horstmann, Karl-Heinz (1976). Neue Modellaufwindverteilungen und ihr Einfluss auf die Auslegung von Segelflugzeugen
Vortrag-OSTIV-Congress 1976 Räyskälä (Finnland), Institut für Aerodynamik , DFVLR Braunschweig .
- [3] Quast, Armin (1977). Mittlere Reisegeschwindigkeit vermessener Segelflugzeuge unter gleichzeitiger Berücksichtigung von vier Modellaufwindverteilungen
Akademische Fliegergruppe Braunschweig e.V..
- [5] Thomas, Fred (1984). Grundlagen für den Entwurf von Segelflugzeugen
Lehrbuch, Motorbuch Verlag Stuttgart
- [6] Rohde-Brandenburger, Kai (2011). Einfluss der Optimierungsgrundlage auf das Wingletdesign am Beispiel des Segelflugzeuges SB 15
Studienarbeit, Inst. f. Aerodynamik und Strömungstechnik, DLR Braunschweig.
- [7] Kassera, Winfried (2011). Flug ohne Motor
Lehrbuch, Motorbuch Verlag, Stuttgart
- [8] FAI (2016). IGC Procedures for Handicapped Classes
FAI, Class D (gliders)