

Vergleich der gemessenen Idafliegpolaren aus verschiedenen Epochen

Ulrich Deck, Idaflieg Berichtsheft 2020

Einleitung

Die Vermessung der Flugleistung im Vergleichsflugverfahren durch die Idaflieg hat eine lange Tradition. Im Lauf der Jahre haben sich nicht nur die Flugzeuge weiterentwickelt, sondern auch die Messverfahren konnten stetig verbessert werden. Außerdem musste das Referenzflugzeug, ehemals ein 18m Cirrus, zunächst gegen eine DG 300 mit 17m Spannweite und kürzlich durch einen Discus 2c ausgetauscht werden, um mit der gestiegenen Flugleistung der Vergleichsflugzeuge mithalten zu können. Berechtigter Weise kam daher die Frage auf inwiefern die gemessenen Idafliegpolaren aus unterschiedlichen zeitlichen Epochen miteinander vergleichbar sind. Mit den Idafliegpolaren von ASW 27 und ASG 29, die auf den letzten beiden Sommertreffen gemessen wurden liegen jetzt aktuelle Polaren vor die mit Messungen von 1997 (ASW 27) und 2008 (ASG 29) verglichen werden können.

Im Jahr 1997 wurde die ASW 27, D-8115, mit 326kg Abflugmasse zum ersten Mal vermessen. Soweit dem Autor bekannt wurde dabei eine fotogrammetrische Messmethode angewandt. Bei dieser Messmethode fliegen beide Flugzeuge über einen Zeitraum von ungefähr drei Minuten mit möglichst konstanter Fluggeschwindigkeit nebeneinander her [1]. Eine kontinuierliche Datenaufzeichnung existierte damals noch nicht. Um das Differenzsinken des Vergleichsflugzeuges zum Referenzflugzeug zu bestimmen musste daher die Zeit des Messabschnittes gestoppt werden und jeweils ein Foto zu Beginn und am Ende des Messabschnittes von beiden Flugzeugen aufgenommen werden. Mit der bekannten Rumpflänge konnte der Maßstab des Fotos bestimmt werden und damit die Höhendifferenz am Anfang und Ende des Messabschnittes berechnet werden.

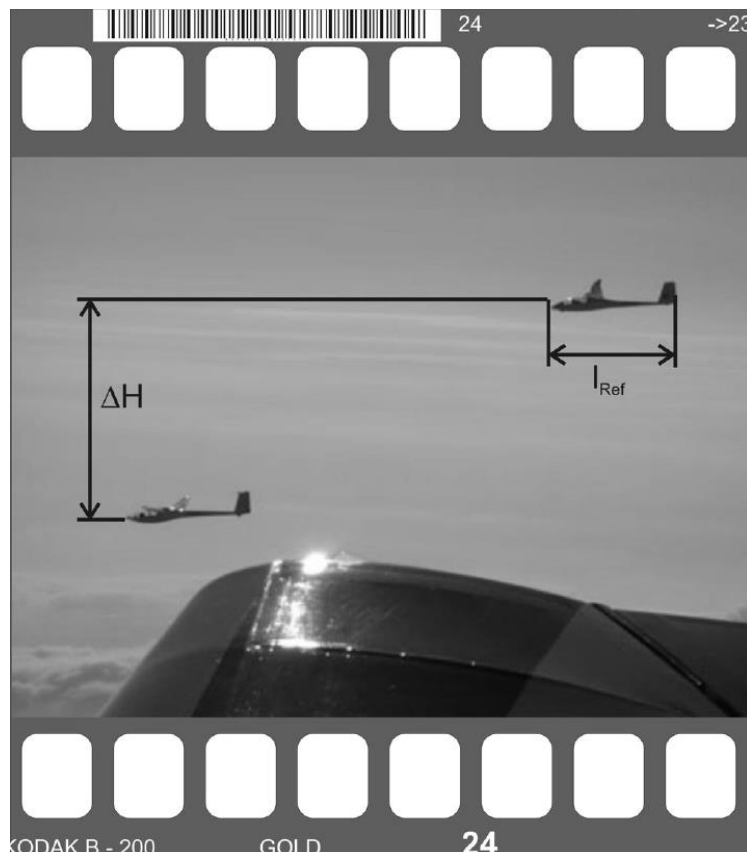


Abbildung 1: typisches Foto, das am Ende eines Messabschnittes aufgenommen wurde, aus [1]

Etwaige Fahrtschwankungen oder ein leichtes Hochziehen beziehungsweise Nachdrücken eines der beiden Flugzeuge ließ sich damit nicht erfassen was sich negativ auf die Genauigkeit der Messmethode auswirkt.

Um die Jahrtausende Wende wurde ein komplett neues Messverfahren entwickelt, welches auf einer kontinuierlichen Datenaufzeichnung basiert. Die ASG 29, D-0601, welche 2008 zum ersten Mal mit 384kg vermessen wurde konnte bereits von der neuen Messtechnik profitieren. Die kontinuierliche Datenaufzeichnung ermöglichte erstmals die Berücksichtigung der kompletten Flugdynamik der beiden nebeneinander herfliegenden Flugzeuge des Messverbandes. Neben einem flugmechanischen Modell der Längsbewegung, mit dem unvermeidbare Fahrtschwankungen herausgerechnet werden können, wurde jetzt auch ein einfaches Hufeisenwirbelmodell entwickelt, mit dem die gegenseitige Beeinflussung der Flugzeuge durch deren Nachlaufwirbel korrigiert werden kann [1]. Vereinfacht ausgedrückt, kann gesagt werden, dass das Referenzflugzeug nur noch dazu dient den atmosphärischen Windvektor zu bestimmen, der dann auf das Vergleichsflugzeug übertragen wird um mit dem gemessenen Flugbahnvektor und der berechneten Korrektur aus dem Hufeisenwirbelmodell die Flugleistung des Vergleichsflugzeuges zu bestimmen. Prinzipiell ergeben sich damit neue Möglichkeiten in der Flugdurchführung, das früher zwingend erforderliche Fliegen von Messabschnitten mit konstanter Fluggeschwindigkeit wird zum Teil überflüssig. Quasi statische Messabschnitte mit sich langsam ändernder Fluggeschwindigkeit ermöglichen jetzt das Messen eines kontinuierlichen Polaren – Verlaufes, auf einzelne diskrete Messpunkte und die nachträgliche Interpolation der Polaren kann verzichtet werden.

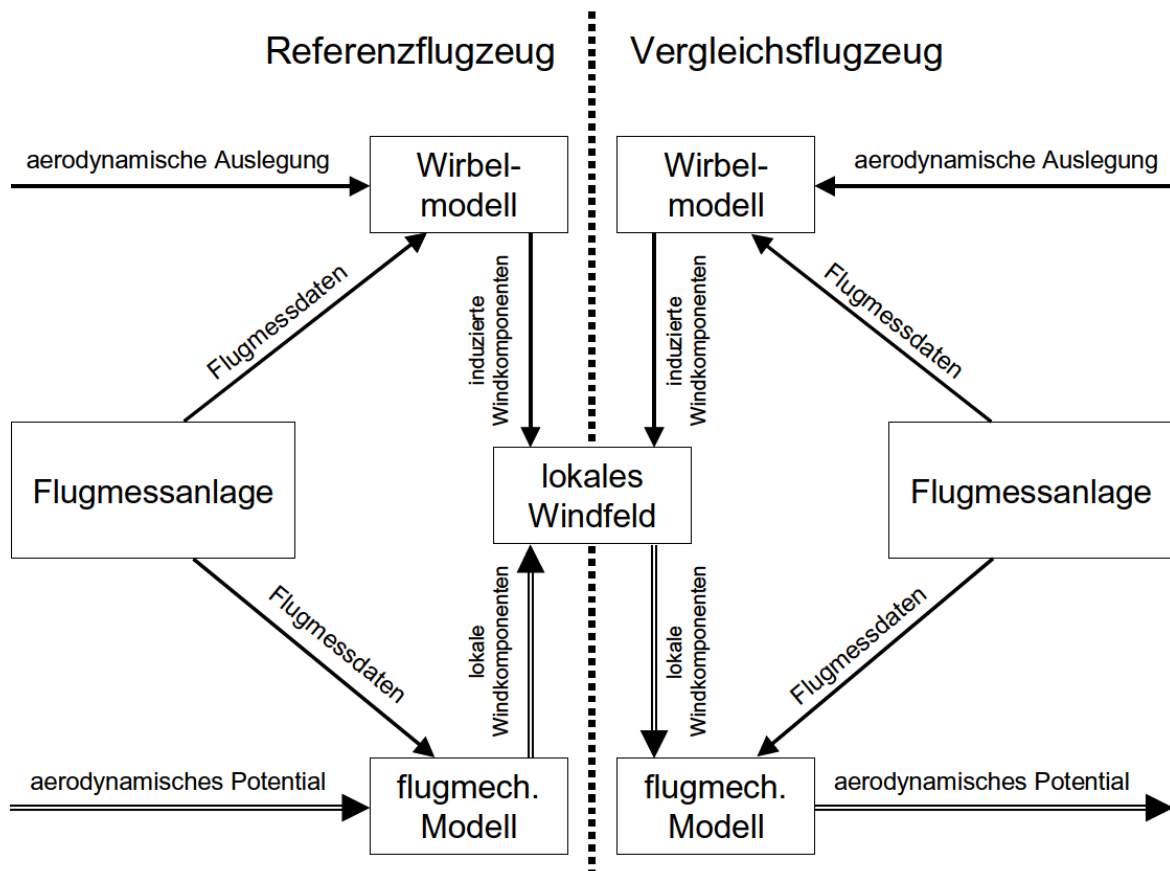


Abbildung 2: Schema der Mess- bzw. Auswertemethode die um die Jahrtausendwende eingeführt wurde, aus [1]

Mit der Umstellung des Referenzflugzeuges von der DG 300 17m auf den Discus 2c wechselte auch die Zuständigkeit in Braunschweig vom IFF zum DLR. Deshalb wurde nicht nur eine vollständige neue Messanlage, basierend auf neuem Differential – GPS, entwickelt sondern auch das Auswerteverfahren neu programmiert. Die beiden aktuellen Messungen von ASW 27 (2018) und ASG 29 (2019) wurden mit diesem Verfahren durchgeführt und ermöglichen daher einen Vergleich des aktuellen Messverfahrens zu beiden älteren Messverfahren.

In gewisser Weise stellt das aktuelle Auswerteverfahren ein Mittelweg zwischen den beiden älteren Verfahren dar. Die Flugwege und Relativpositionen der beiden Flugzeuge des Messverbandes werden kontinuierlich zusammen mit weiteren Atmosphärischen Daten aufgezeichnet. Dies entspricht bis auf die modernisierte Messtechnik dem neueren Verfahren, das um die Jahrtausendwende eingeführt wurde. Verzichtet wird allerdings auf die komplexe flugmechanische Modellierung der beiden Flugzeuge und bis zuletzt auch auf ein Hufeisenwirbelmodell, um den Nachlaufeinfluss zu korrigieren. Stattdessen werden auftretende Fahrtschwankungen mit einem einfachen Totalenergieansatz korrigiert, der im Wesentlichen darauf beruht nicht die Höhendifferenzen der beiden Flugzeuge zu vergleichen sondern jeweils deren potentielle und kinetische Energie zu addieren um sie mit dem anderen Flugzeug zu vergleichen. Damit müssen wieder Messpunkte mit konstanter Geschwindigkeit geflogen werden, was eine nachträgliche Interpolation der Messpunkte erfordert. Allerdings kann so die verwendete Mathematik einfach und leicht nachvollziehbar gehalten werden, was auch die eigenständige Auswertung durch die Akaflieger ermöglichen soll.

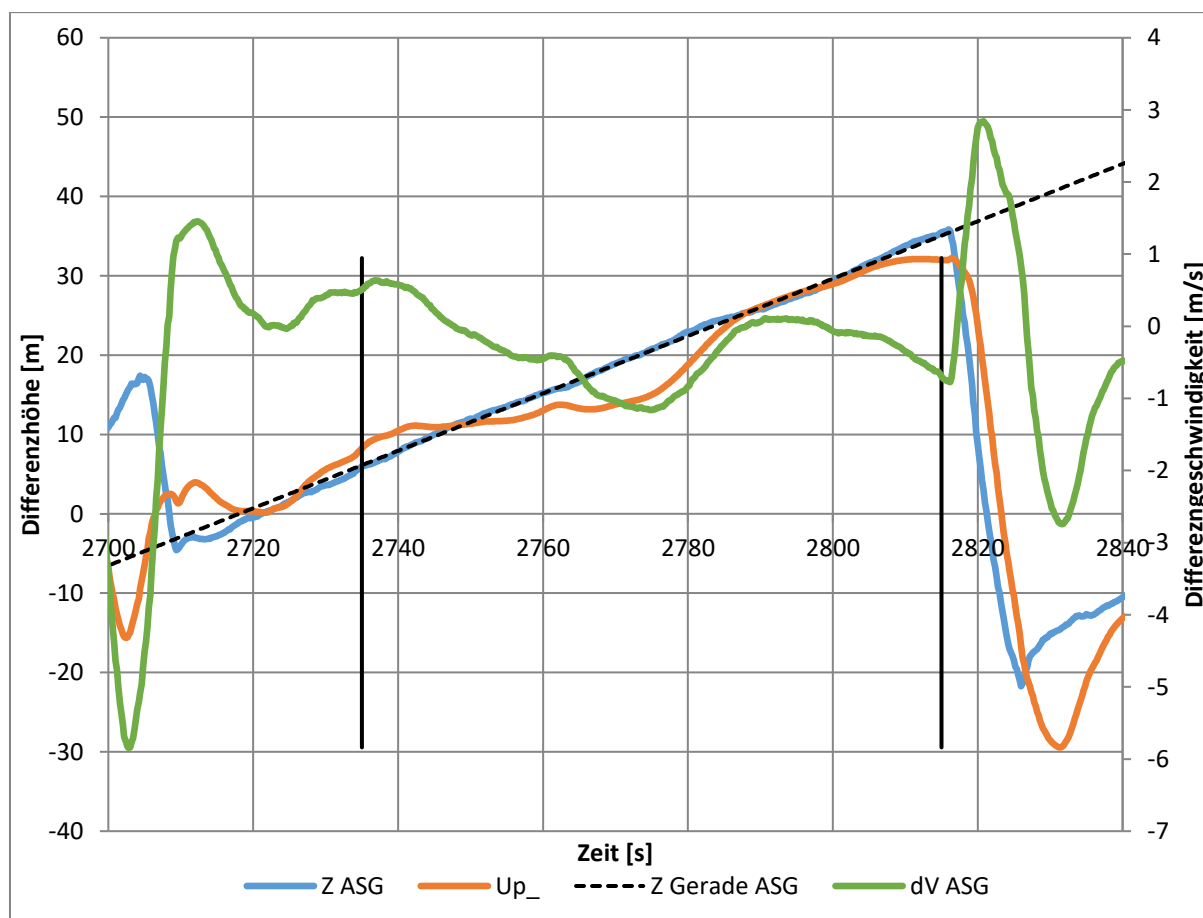


Abbildung 3: Typischer Plot eines Messpunktes bei der Auswertung mit dem neuesten Verfahren, man sieht die Differenzgeschwindigkeit (grün), die unkorrigierte Differenzhöhe (rot) sowie die Totalenergie

Kompensierte Differenzhöhe (blau). Letztere liegt fast auf der Ausgleichsgeraden (gestrichelte Linie), dies bestätigt die Funktion der TE – Kompensation.

Vergleich der ASW 27 Polaren von 1997 und 2018

Die ASW 27 wurde 1997 und 2018 mit folgenden Parametern vermessen:

- 1997: 326kg Abflugmasse, Flugzeug D-8115, Pilot Neumann
- 2018: 366kg Abflugmasse, Schwerpunkt 293mm h. BE, Flugzeug D-8255, Pilot Dilcher

Aufgrund des großen zeitlichen Abstandes konnte nicht genau dieselbe ASW 27 nochmal vermessen werden. Die Abflugmasse musste ebenfalls höher gewählt werden, da diese ASW 27 Messung gleichzeitig als Vergleich zur Mü 31 Messung herangezogen werden sollte. Um die Vergleichbarkeit herzustellen wurden daher die gemessenen Polaren von 1997 mit einer einfachen Skalierungsmethode auf die höhere Masse der aktuellen Vermessung umgerechnet. Auf etwaige Fehler beim Umrechnen der Flächenbelastung wird weiter unten noch eingegangen. Trotzdem zeigt sich auf den ersten Blick eine hohe Übereinstimmung der beiden Messungen:

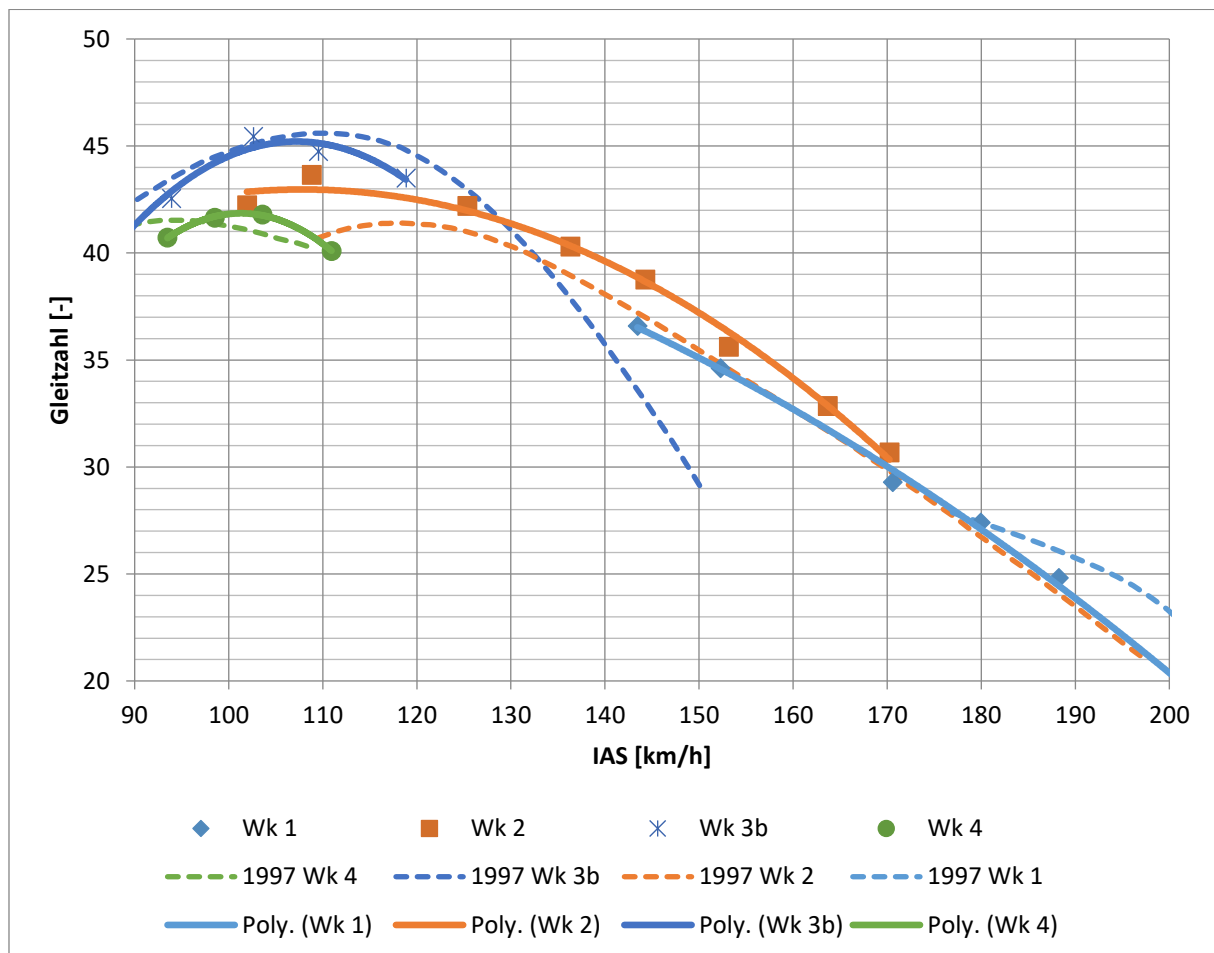


Abbildung 4: Gleitzahlpolare ausgewählter Wölbklappenstellungen aus den Messungen von 1997 (gestrichelte Linien) und 2018 (durchgezogene Linien bzw. Messpunkte)

Die Langsamflugstellungen „Wk 4“ und „Wk 3b“ zeigen eine gute Übereinstimmung mit der Messung von 1997. Die Streuung der Messpunkte mit ungefähr einem Gleitzahlpunkt um die interpolierte Linie der alten Polare kann als übliche Schwankung der Ergebnisse angesehen werden. Bei der Schnellflugstellung „Wk 2“ fällt auf, dass die neuere Polare fast zwei Gleitzahlpunkte über der Polare von 1997 liegt. Die Unterschiede werden in der Schnellflugstellung „Wk 1“ noch deutlicher. Auffallend

ist allerdings, dass die jüngst gemessenen Polare der Schnellflugstellung „Wk1“ quasi auf der 1997 gemessenen Polare der Schnellflugstellung „Wk 2“ liegt. Wenn man jetzt berücksichtigt, dass 2018 an der ASW 27 die Wölbklappenausschläge vor den Vermessungen neu eingestellt wurden, um diese genau auf die Ausschläge der Mü 31 einzustellen, scheint es plausibel, dass die „Wk 1“ Stellung von 2018 der „Wk 2“ Stellung von 1997 entspricht. Dies erklärt auch warum die 2018 gemessene Polare der „Wk 2“ Stellung bei den niedrigeren Geschwindigkeiten über der 1997 gemessenen Polare liegt, der Ausschlag der Wölbklappe ist positiver. Wenn dieser Sachverhalt auch nicht mit letzter Gewissheit bestätigt werden kann, da die genauen Rudereinstelldaten nicht verglichen werden konnten zwischen den beiden Messungen, so kann doch davon ausgegangen werden, dass auch im hohen Geschwindigkeitsbereich die Übereinstimmungen der beiden gemessenen Polaren sehr gut ist. Die auftretenden Unterschiede können wie gerade gezeigt durch Unterschiede der beiden ASW 27en erklärt werden.

Vergleich der ASG 29 Polaren von 2008 und 2019

Die ASG 29 wurde 2008 und 2019 mit folgenden Parametern vermessen:

- 2008: 384kg Abflugmasse, Schwerpunkt 296mm h. BE, Flugzeug D-0601
- 2019: 391kg Abflugmasse, Schwerpunkt 295mm h. BE, Flugzeug D-0601, Pilot Ferenschütz

Die ASG 29 „FN“, D-0601, stammt von der Akaflieg Karlsruhe und wurde 2008 zum ersten Mal kurz nach der Auslieferung vermessen. 2019 wurde explizit die gleiche ASG 29 ausgewählt, um die Polare erneut zu messen. Weiterhin wurde versucht die Abflugmasse und Schwerpunktlage möglichst identisch zur ersten Messung einzustellen. Zusätzlich wurden vor der Vermessung die pneumatischen Turbulatoren überprüft und gereinigt sowie die Abdichtungen erneuert. Damit sollen die Einflüsse des Flugzeuges auf die Ergebnisse der Flugleistungsvermessung aus unterschiedlichen Jahren möglichst klein gehalten werden. Nach den ersten drei Messflügen und einer Auswertung basierend auf diesen zeigte sich auch zunächst eine recht gute Übereinstimmung von den gemessenen Polaren aus 2008 und 2019:

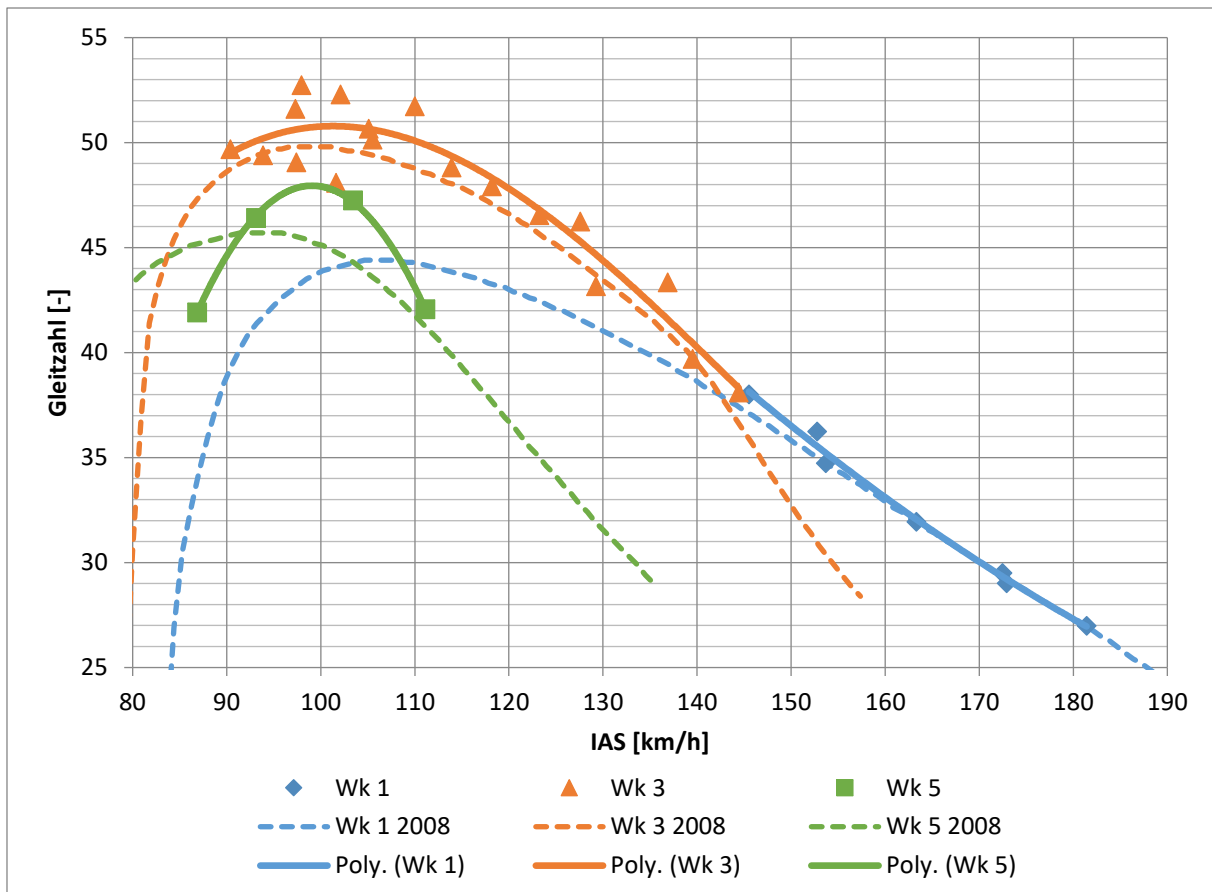


Abbildung 5: Gleitzahlpolare ausgewählter Wölbklappenstellungen aus den Messungen von 2008 (gestrichelte Linien) und von Flug 1 bis 3 aus 2019 (durchgezogene Linien bzw. Messpunkte)

Die größeren Abweichungen bei der Langsamflugstellung „Wk 5“ sind auf die geringe Anzahl an geflogenen Messpunkten zurück zu führen. Ansonsten liegen vor allem die Messpunkte der Stellung „Wk 3“ im Mittel ungefähr ein Gleitzahlpunkt über der gemessenen Gleitzahlpolare aus 2008. Diese Abweichung ist noch im Rahmen der üblichen Messtoleranz.

Allerdings musste nach dem dritten Messflug festgestellt werden, dass die Bremsklappen nicht vollständig einfahren und die Bremsklappenabdeckung aus der Kontur um 2-3mm heraussteht. Da bei der 2008 fast werksneuen ASG 29 „FN“ dieser Mangel vermutlich nicht bestand musste er behoben werden, um die Flugleistungsvermessung danach neu zu beginnen. Die ersten drei Messflüge wurden daher verworfen. In den folgenden Messflügen zeigten sich eine deutlich bessere Flugleistung der ASG 29 und damit auch ein größerer Unterschied zu der gemessenen Polare aus 2008:

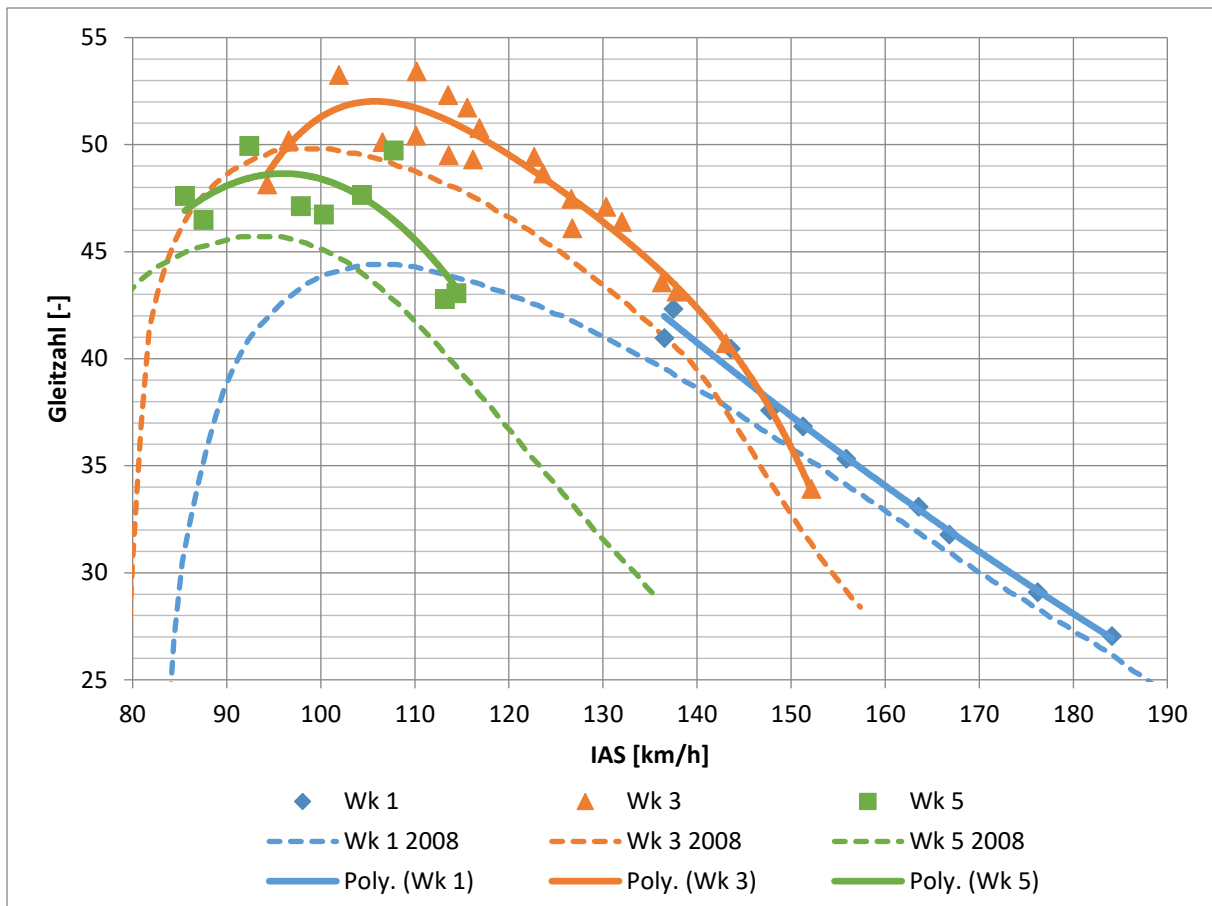


Abbildung 6: Gleitzahlpolare ausgewählter Wölbklappenstellungen aus den Messungen von 2008 (gestrichelte Linien) und von Flug 4 bis 7 aus 2019 (durchgezogene Linien bzw. Messpunkte)

Die Auswertung der Messflüge vier bis sieben nach Behebung des Bremsklappenproblems zeigt jetzt einen deutlichen Unterschied in den gemessenen Polen von 2008 und 2019. Über alle Wölbklappenstellungen hinweg ist die Gleitzahl im mittleren Geschwindigkeitsbereich nach der neueren Messung um gut zwei Punkte höher. Im Schnellflug reduziert sich der Unterschied auf etwa einen Gleitzahlpunkt im Langsamflug prognostiziert die neuere Messung sogar eine um drei Gleitzahlpunkte bessere Flugleistung. Unter der Annahme, dass das Problem mit den Bremsklappen bei der 2008 fast werksneuen ASG 29 nicht bestand, lässt sich somit ein größerer Unterschied zwischen den ab der Jahrtausendwende gemessenen Polen und den ganz neuen Messungen feststellen.

Einfluss des induzierten Windfeldes

Wie hinlänglich bekannt erzeugt jedes Flugzeug ein Wirbelfeld aus dem direkt hinter dem Tragflügel ein Abwindfeld und seitlich sowie vor dem Tragflügel ein Aufwindfeld resultiert. Die induzierten Vertikalgeschwindigkeiten sind bei größerem Abstand zum Flugzeug sehr gering, können in der näheren Umgebung des Flugzeuges aber durchaus Werte erreichen, die bei der Bestimmung der Flugleistung von Segelflugzeugen relevanten Einfluss haben. Daher wurde mit Beginn der Flugdatenerfassung ein einfaches Hufeisenwirbelmodell entwickelt, mit dem sich die induzierten Vertikalgeschwindigkeiten auf das jeweils andere Flugzeug im Messverband berechnen lassen [2]. Die berechneten induzierten Vertikalgeschwindigkeiten müssen demnach mit dem richtigen Vorzeichen zum gemessenen Differenzsinken addiert werden, um das tatsächliche Differenzsinken zu erhalten, welches nur von der unterschiedlichen Flugleistung der beiden Flugzeuge abhängt. Bei dem neueren vom DLR entwickelten Auswerteverfahren fand zunächst keine Berechnung der induzierten

Vertikalgeschwindigkeiten statt, da die Implementierung des Hufeisenwirbelmodells einige zusätzliche Eingabewerte erfordert. Um den dadurch entstandenen Fehler bei der neuerlichen Vermessung von ASW 27 und ASG 29 abschätzen zu können wurde die ASG 29 Messung erneut ausgewertet und dabei die induzierten Vertikalgeschwindigkeiten berechnet. Zur Anwendung kam dazu das in [2] vorgestellte Hufeisenwirbelmodell. Bei einzelnen Messpunkten, die mit geringem Abstand zwischen den beiden Flugzeugen geflogen wurden, konnte ein Fehler von bis zu einem Gleitzahlpunkt, verursacht durch die induzierten Vertikalgeschwindigkeiten, festgestellt werden. Insgesamt ist der gemittelte Fehler über die ganze Polare allerdings deutlich kleiner, dies ist vor allem auf die teilweise recht großen Abstände zwischen den beiden Flugzeugen im Messverband zurück zu führen:

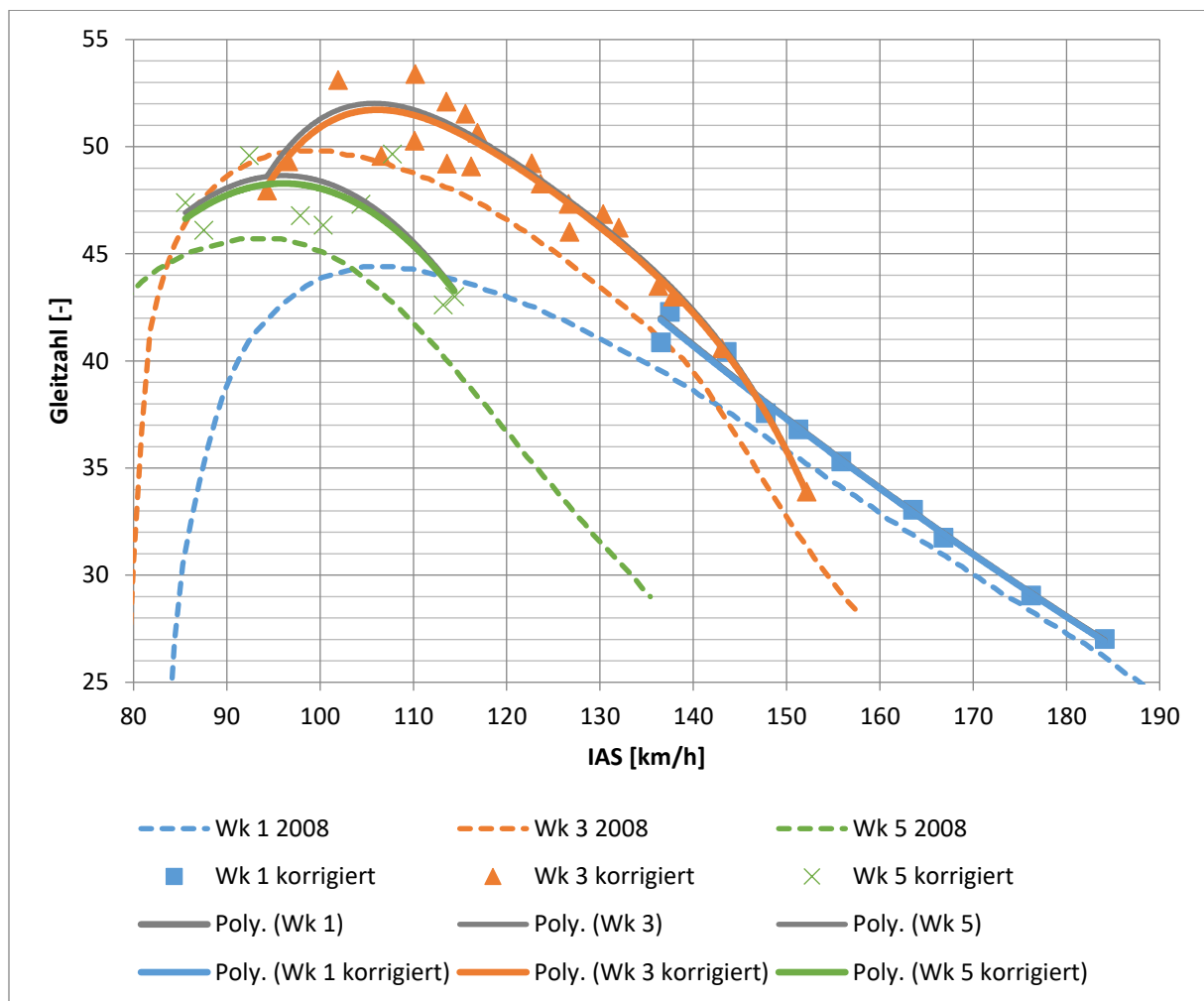


Abbildung 7: Gleitzahlpolare mit korrigierter Auswertung, die die induzierten Vertikalgeschwindigkeiten berücksichtigt, ausgewählter Wölbklappenstellungen aus den Messungen von 2008 (gestrichelte Linien) und von Flug 4 bis 7 aus 2019 (durchgezogene Linien bzw. Messpunkte). In grau sind die nicht korrigierten Polaren aus 2019 von Abbildung 5 dargestellt.

Es zeigt sich, dass mit Berücksichtigung der induzierten Vertikalgeschwindigkeiten die gemessene Flugleistung der ASG 29 etwas geringer ausfällt. Dies liegt daran, dass die ASG 29 üblicherweise seitlich hinter dem Referenzflugzeug herfliegt und sich somit in dessen „Aufwindfeld“ befindet. Die induzierten Vertikalgeschwindigkeiten wirken sich nur im Langsamflug auf die gemessenen Flugleistungen aus. Insgesamt sind die korrigierten Polaren ungefähr 0,1 bis 0,2 Gleitzahlpunkte schlechter. Die großen Unterschiede zur 2008 gemessenen Idafliiegpolare können damit nicht erklärt werden.

Umrechnung der Flächenbelastung

Wie bereits bei dem Vergleich der ASW 27 Polaren gezeigt, ist es unter Umständen notwendig die gemessenen Polaren auf eine andere Abflugmasse beziehungsweise Flächenbelastung umzurechnen. Üblicherweise geschieht dies durch einfache Skalierung der Fluggeschwindigkeiten mit der Wurzel aus gewünschtem Gewicht zu gemessenem Gewicht. Dabei wird allerdings der Einfluss der Reynolds – Zahl vernachlässigt. Bekannt ist, dass der Profilwiderstandsbeiwert mit steigender Reynolds – Zahl sinkt, das heißt ein Flugzeug mit hoher Flugmasse hat bei gleich geflogenem Anstellwinkel im Vergleich zu demselben Flugzeug mit kleinerer Flugmasse einen niedrigeren Widerstandsbeiwert. Rechnet man also die Polare eines leicht vermessenen Flugzeuges ohne Berücksichtigung des Reynolds – Effektes auf ein höheres Gewicht um, so ist die umgerechnete Polare zu schlecht. Umgekehrt ist die Polare eines schwer vermessenen Flugzeuges, die auf kleinere Flugmassen heruntergerechnet wird zu gut. Die Berechnung des Reynolds – Effektes ist nicht ohne weiteres möglich, da man dazu die Profildaten benötigt und für jede Flugmasse passende Profilpolaren mit der richtigen Reynolds – Zahl berechnen muss. Um den Fehler einer einfachen Umrechnung mit der Skalierungsmethode abschätzen zu können wurden die gemessene ASG 29 Polare in Wölbklappenstellung „Wk 3“ mit drei verschiedenen aufwendigen Methoden auf eine höhere Flugmasse umgerechnet. Dabei zeigen sich in den auf 525kg hochgerechneten Polaren Unterschiede von einem guten Gleitzahlpunkt:

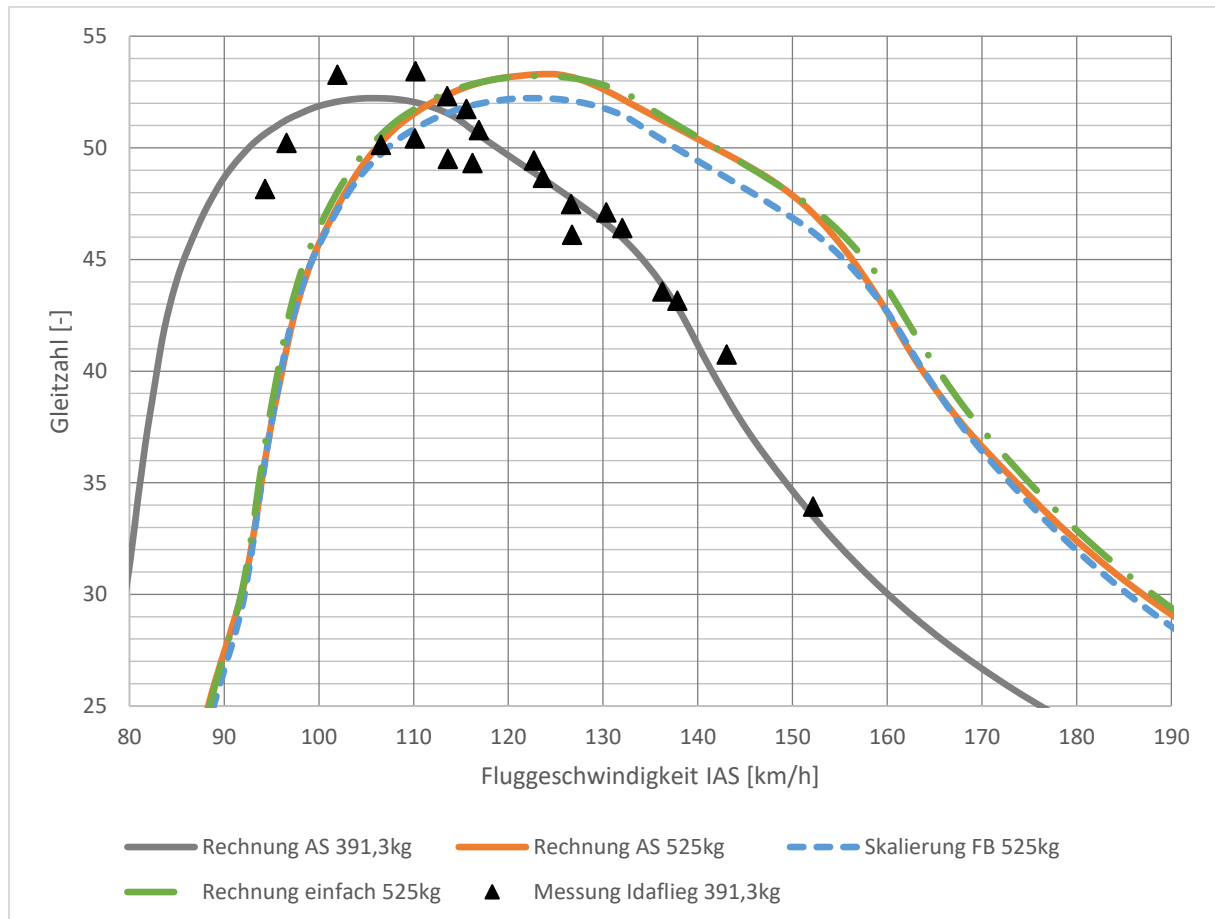


Abbildung 8: Vergleich der Idaflieg Messpunkte der ASG 29 in „Wk 3“ (schwarze Dreiecke) mit der von Alexander Schleicher durchgeführten Flugleistungsrechnung (graue Linie) sowie Vergleich von drei verschiedenen Umrechnungsmethoden auf eine höhere Flächenbelastung: Einfache Skalierung der Fluggeschwindigkeit (blau gestrichelte Linie), einfache Abschätzung des Reynolds – Effektes (grüne Strichpunkt – Linie), Alexander Schleicher Flugleistungsrechnung (rote Linie)

Zunächst wurde die gemessene Polare der ASG 29 in „Wk 3“ mit dem Flugleistungstool von Alexander Schleicher nachgerechnet, dabei zeigte sich eine hohe Übereinstimmung von Flugleistungsrechnung zur gemessenen Polare. Anschließend wurde mit demselben Flugleistungstool die Polare der ASG 29 in „Wk 3“ für eine höhere Flugmasse von 525kg berechnet. Bei dieser Neuberechnung der Polare sind alle relevanten Einflüsse berücksichtigt, es handelt sich um eine vollständige Flugleistungsrechnung wie sie auch im Entwurf eingesetzt wird. Damit verglichen liegt die, wie oben beschrieben, skalierte Polare ungefähr einen Gleitzahlpunkt zu niedrig. Mit einem einfachen Formelbezug aus [3] wurde versucht den Reynolds – Effekt bei der Umrechnung zu berücksichtigen. Innerhalb der Laminardelle führt dies nach Abbildung 8 zu einer guten Übereinstimmung mit der Polare aus der Flugleistungsrechnung, außerhalb der Laminardelle liegt die einfach umgerechnete Polare etwas zu hoch.

Fazit und Ausblick

Nach einer kurzen Vorstellung der drei wesentlichen Messverfahren zur Bestimmung der Flugleistungen im Vergleichsflugverfahren durch die Idaflieg wurden gemessene Polaren von den beiden letzten Sommertreffen mit älteren Messergebnissen verglichen. Dabei zeigte sich eine hohe Übereinstimmung der zuletzt gemessenen Polaren mit denen aus der Zeit vor der Flugdatenerfassung. Trotz dessen, dass die Flugleistung anfänglich mit einer einfachen fotogrammetrischen Methode ausgewertet wurde passen die bestimmten Polaren gut zu jüngst nachgemessenen Polaren.

Größere Abweichungen zeigten sich allerdings zwischen den beiden Messverfahren, die auf einer elektronischen Datenerfassung basieren. Die neusten Polaren der ASG 29 prognostizieren eine um ungefähr zwei Gleitzahlpunkte bessere Flugleistung als die 2008 gemessenen Polaren. Es wurde untersucht ob die zur Jahrtausendwende eingeführt Korrektur der induzierten Vertikalgeschwindigkeiten im Flugmessverband, die in den aktuellen Auswertungen nicht enthalten ist, für diese Unterschiede verantwortlich ist. Diese Vermutung bestätigte sich nicht, der Einfluss der induzierten Vertikalgeschwindigkeiten ist deutlich kleiner als die beobachteten Unterschiede in den gemessenen Polaren. Nicht zuletzt kann allerdings auch nicht ausgeschlossen werden, dass die Unterschiede durch die vermessene ASG 29 selbst verursacht werden, da auf dem letzten Sommertreffen Probleme mit deren Bremsklappenabdeckungen aufgetreten sind. Nur eine Vermessung weiterer Flugzeuge von denen ältere Idafliegpolaren vorhanden sind kann diesen Sachverhalt aufklären.

Weiterhin wurde untersucht inwiefern es möglich ist gemessene Polaren auf andere Flugmassen beziehungsweise Flächenbelastungen umzurechnen. Hierbei zeigte sich deutlich, dass die einfache Skalierung der Fluggeschwindigkeit, die häufig angewandt wird, um Polaren zweier Flugzeuge miteinander zu vergleichen, zu deutlichen Fehlern führt. Dies ist auf die Vernachlässigung des Reynolds – Effektes zurück zu führen. Als Ausgangspolare zur Bestimmung des Reynolds – Effektes wurde hierfür eine Polare aus der Flugleistungsrechnung von Alexander Schleicher verwendet. Interessant wäre hier für die Zukunft die Flugleistung eines Flugzeuges bei stark unterschiedlichen Flugmassen zu vermessen um die reale Auswirkung des Reynolds – Effektes abschätzen zu können.

Quellen

- [1] G. Wende: Ermittlung der Flugleistung von Segelflugzeugen, Dissertation, Fakultät für Maschinenbau und Elektrotechnik, TU Braunschweig, 2003
- [2] P. Scholz: Untersuchung des induzierten Windfeldes von Segelflugzeugen im Formationsflug, Konstruktiver Entwurf, TU Braunschweig, 2002
- [3] F. Thomas: Grundlagen für den Entwurf von Segelflugzeugen, TU Braunschweig, 1989