



Deutsche Gesellschaft  
für Luft- und Raumfahrt  
Lilienthal-Oberth e.V.



ROYAL  
AERONAUTICAL  
SOCIETY  
HAMBURG BRANCH e.V.



Verein Deutscher Ingenieure  
Hamburger Bezirksverein e.V.  
Arbeitskreis Luft- und Raumfahrt

Die DGLR lädt ein zum Vortrag in Kooperation mit VDI und RAeS

## Mit dem Segelflugzeug auf Streckenflug

Planung, Vorbereitung und Durchführung eines Streckensegelfluges,  
Taktik, Meteorologie und flugmechanische Aspekte

**Dipl.-Ing. Claus Cordes, Flugkapitän**

**Datum:** Donnerstag, 10. Dezember 2015, 18:00 Uhr  
**Ort:** HAW Hamburg  
Berliner Tor 5 (Neubau)  
Hörsaal 01.12



Foto: Cordes

Der Vortrag beschreibt die verschiedenen Aspekte der Planung und Durchführung eines 500 km Streckenfluges im Segelflugzeug. Dargestellt wird dies am Beispiel eines Fluges von Waldeck nach Stralsund, durchgeführt am 11. August 2014. Dabei werden neben all den zu berücksichtigenden Parametern wie Meteorologie, Orographie, Luftraumstruktur und Flugtaktik im Streckensegelflug insbesondere die relevanten flugmechanischen Besonderheiten betrachtet.

Der Vortragende beabsichtigt insbesondere auch, das Interesse am und für den Segelflugsport zu wecken. Der Segelflugsport ist offen für Flugschüler (fast) jeden Alters. Wichtig ist das Interesse für eine Aktivität in der Gemeinschaft und die Bewegung in frischer Luft, denn auch am Boden warten viele interessante Aufgaben.

**Download: <http://hamburg.dglr.de>**

**Im Archiv: <http://doi.org/10.5281/zenodo.2578219>**

# Mit dem Segelflugzeug auf Streckenflug



## Inhalt

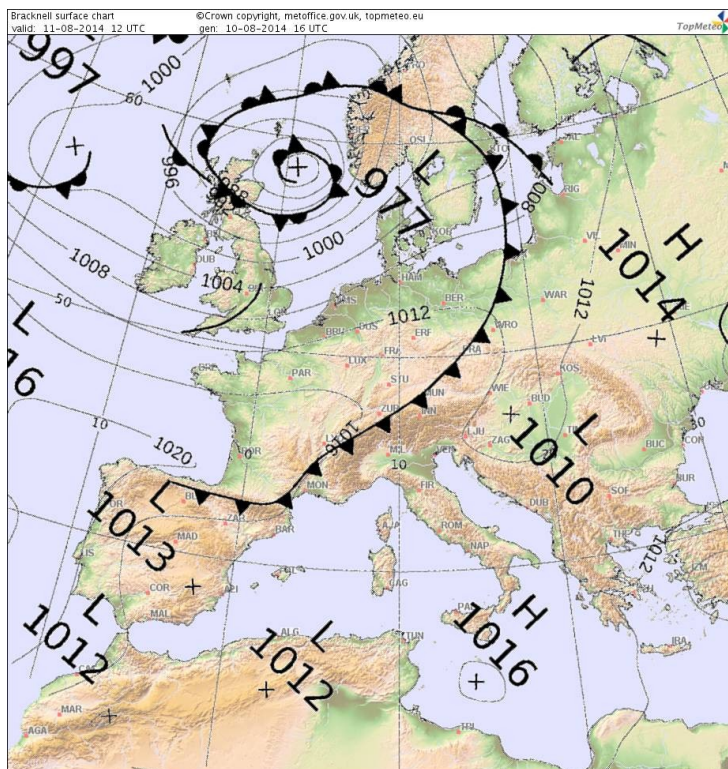
1	Einleitung .....	2
2	Grundlagen und Planung .....	2
3	Vorbereitung .....	9
4	Durchführung .....	9
5	Wettbewerb .....	13
6	Fazit .....	14

# 1 Einleitung

Die Ermöglichung der schnellen Überwindung großer Entfernungen ist die eigentliche Aufgabe eines Flugzeuges, und der moderne Linienluftverkehr erlaubt heute Langstreckenflüge bis zu fast 15000 km – planbar und mit der Präzision eines Uhrwerkes. Auch mit einem Segelflugzeug lassen sich (relativ) große Distanzen zurücklegen. Die Möglichkeit dazu zeichnet sich auch bei intensiver Wetterbeobachtung aber erst einige wenige Tage vorher ab. Dann sind selbst in Deutschland unter Berücksichtigung verschiedener Umstände Flugdistanzen bis zu 1000 km im Segelflugzeug fliegbar. Der Vortrag befasst sich mit der Planung, Vorbereitung und Durchführung von Überlandflügen mit Segelflugzeugen.

## 2 Grundlagen und Planung

Die Planung eines Streckensegelfluges erfolgt zunächst durch permanente Beobachtung des Wetters. Ausschlaggebend für die Möglichkeiten ist vor allem die **Großwetterlage**. Dabei hat die Art der Luftmasse den größten Einfluß. Generell kann man sagen, dass einfließende Kaltluft, die unter Hochdruckeinfluß gerät, die besten Möglichkeiten bietet. Kalte Luft kann von der Sonne ausreichend erwärmt werden, so dass sie aufsteigt und Thermik bildet.



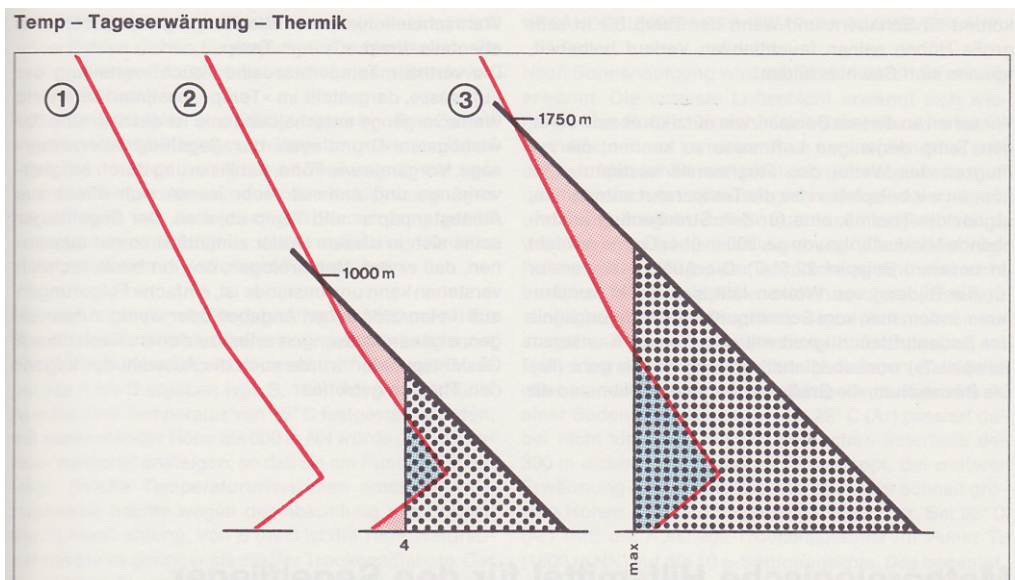
**Bild 1:** Dem Autor gelang am 14.08.2014 hinter einer abziehenden Kaltfront sein erster Flug über eine Entfernung von über 500 km von Waldeck am Edersee nach Stralsund



Druckgebilde und Windrichtung bestimmen vorwiegend den Typ der einfließenden Luftmasse, die nach den Kriterien kontinental oder maritim, tropisch oder polar bestimmt wird.

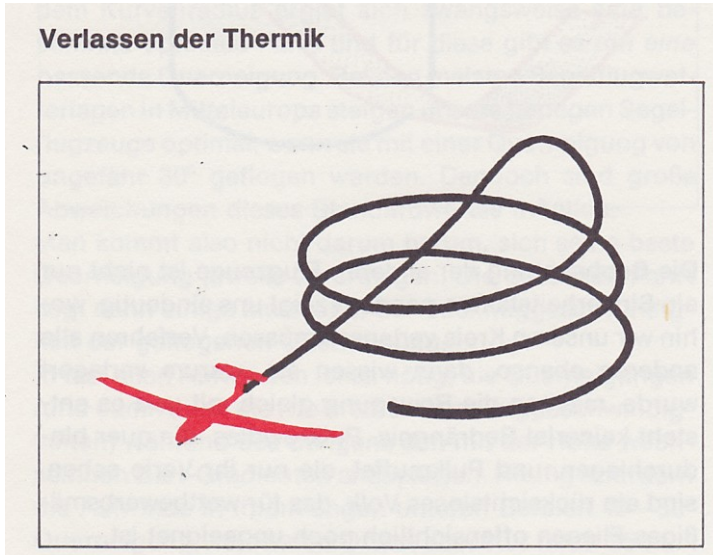
Innerhalb der Luftmasse ist der **vertikale Temperaturgradient** von entscheidender Bedeutung. Steigt Luft durch örtliche Überhitzung auf und kommt dabei nach adiabatischer Abkühlung in wärmere Umgebungsluft, steigt sie aufgrund der Temperaturdifferenz weiter auf (Labilität). Ist der Feuchtegehalt ausreichend, kondensiert der Wasserdampf bei Erreichen des Taupunktes aus, und es setzt Wolkenbildung ein. Bei der Kondensation wird latente Wärme frei und beschleunigt den Aufstiegsprozeß. Ist die vertikale Temperaturverteilung feuchtlabil (die aufsteigende Luft ist bei Kondensation wärmer als die Umgebungsluft) setzt sich der Prozeß bis in große Höhen fort, es kommt zu sogenannten Überentwicklungen, die häufig mit Regenschauern oder auch mit Gewitterbildung einhergehen. Für Streckenflugwetter ist es daher notwendig, dass es durch einsetzenden Hochdruck zu Absinkbewegungen in der oberen und mittleren Troposphäre kommt. Die sich dabei ausbildenden Inversionen (Temperaturanstieg mit zunehmender Höhe) beenden den Aufstiegsprozeß, so daß die o.a. Überentwicklungen unterdrückt werden.

Im Idealfall erreichen die entstehenden Cumuluswolken eine vertikale Mächtigkeit von nur einigen hundert Metern. Diese Form der Thermik nennt man **Cumulusthermik**. Durch die flachen Cumuli werden die Zonen aufsteigender Luft sehr gut markiert. Allerdings ist der „Reifegrad“ der Wolken ständig zu beobachten. Entstehende Cumuli markieren gesunde Thermik, zerfallende lassen keinen Anstieg mehr erwarten.



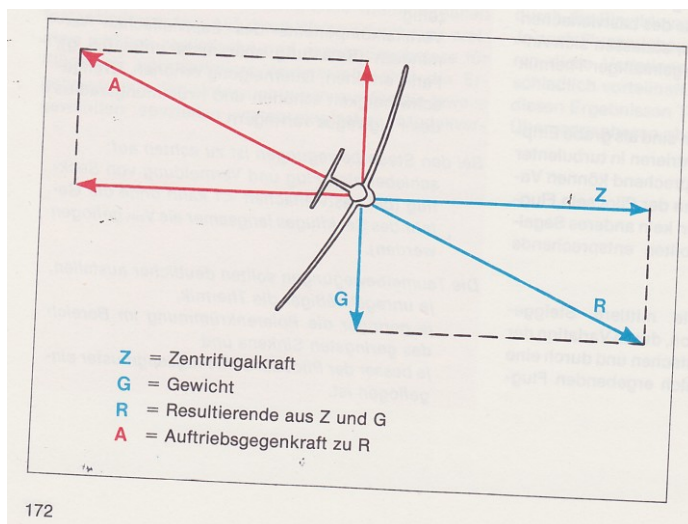
**Bild 2:** Ansteigen der Thermikhöhe im Tagesgang

Die konventionelle **Streckenflugtheorie** beschreibt die Vorgehensweise, dass man den von einer Wolke markierten Aufwind im Kreisflug nutzt und dann mit der gewonnenen Höhe zum nächsten sichtbaren Aufwind gleitet. Durch den Flug von Wolke zu Wolke kann man so „Strecke machen“.



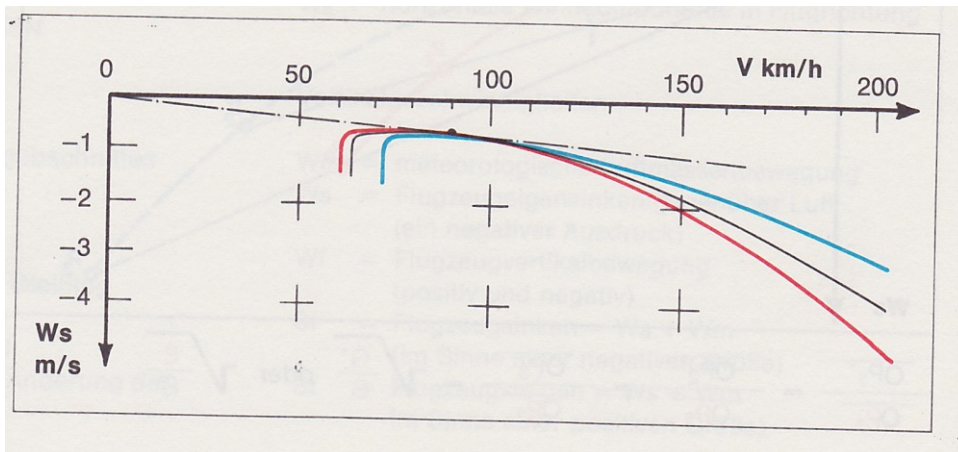
**Bild 3:** Kreisen im Aufwind und Vorflug zum nächsten Aufwind

Beim **Kreisen** unterhalb einer Wolke, dem „Kurbeln“ muss das Flugzeug möglichst mit der Geschwindigkeit für das geringste Eigensinken geflogen werden. Hängewinkel sollten nicht unter  $30^\circ$ , besser  $40^\circ$  betragen, in Fällen extrem enger Aufwindgebiete können auch Hängewinkel von größer  $45^\circ$  notwendig werden.



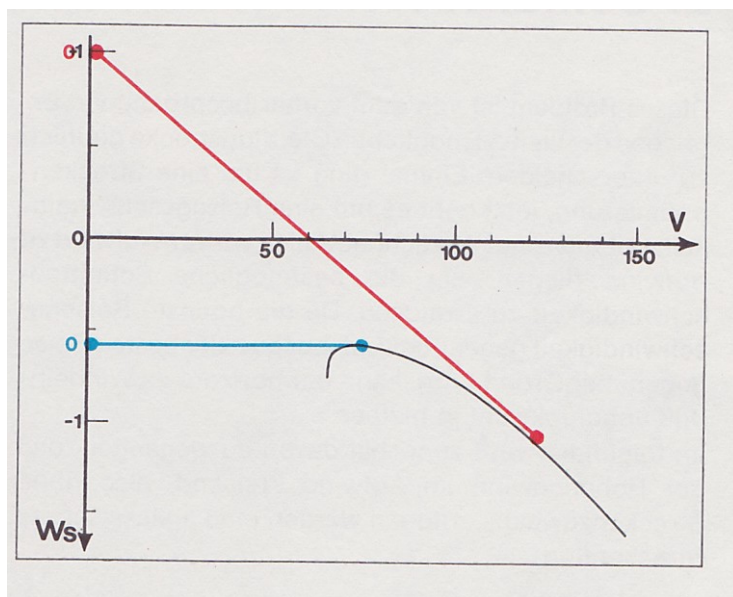
**Bild 4:** Äußere Kräfte beim engen Kurvenflug

Die **Gleitflugpolare** verschiebt sich dann entlang der Berührtangente aus dem Ursprung zu größeren Werten hin. Es muss also bei zunehmendem Lastvielfachen schneller geflogen werden.



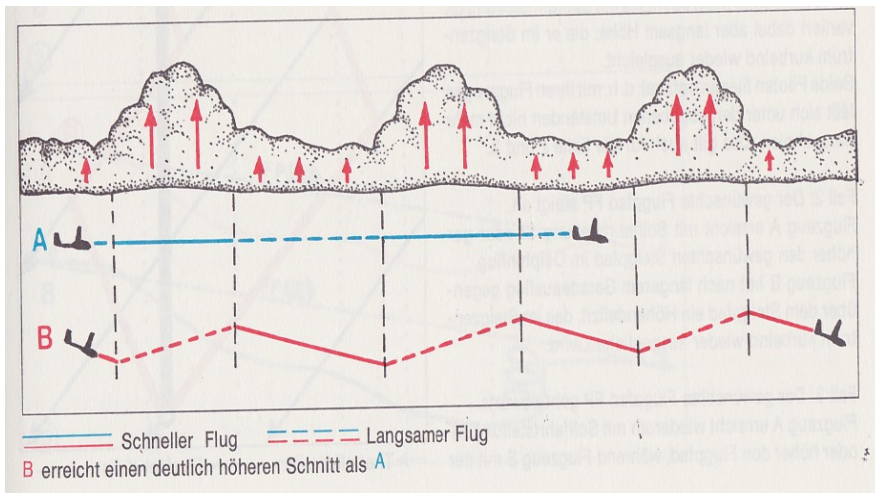
**Bild 5:** Gleitflugpolare bei Geradausflug (rot), mittlerem Hängewinkel (schwarz) und hohem Hängewinkel (blau)

Beim Vorflug zur nächsten Wolke wird mit der für die äußeren Umstände maßgeblichen Geschwindigkeit für das beste Gleiten geflogen. Das bedeutet, dass in sinkender Luftmasse die Geschwindigkeit gegenüber der in ruhender Luft u.U. deutlich erhöht werden muss.



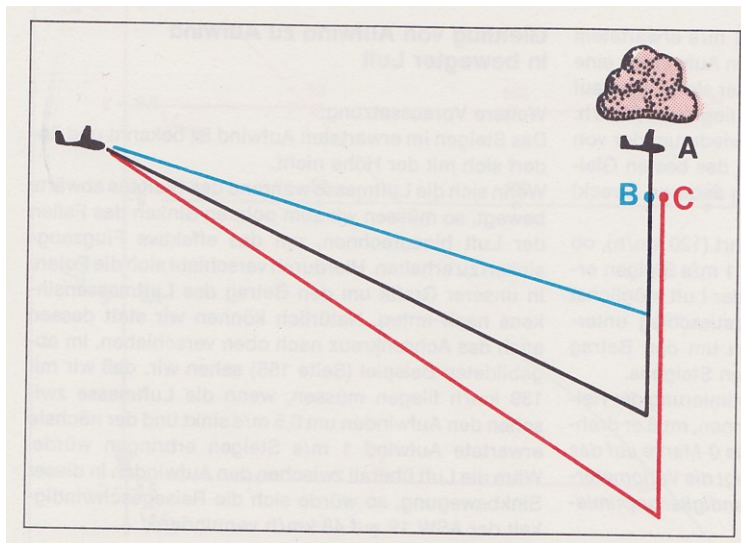
**Bild 6:** Geschwindigkeit des besten Gleitens bei steigender (blau) und sinkender Luftmasse (rot)

Kommt es unter günstigen Bedingungen zur Ausbildung von **Wolkenstrassen** (sich in Linien anordnende Cumuli), kann unter den Wolken im extremen Langsamflug Höhe gewonnen werden, die dann zwischen den einzelnen Wolken zum schnellen Vorflug genutzt werden kann. Den sich dann einstellenden Flugstil nennt man **Delphinflugstil**.



**Bild 7:** Delphinflugstil (rote Linie)

Der Wahl der richtigen Fluggeschwindigkeit kommt dabei hohe Bedeutung für das Erreichen einer großen Strecke oder einer hohen Durchschnittsgeschwindigkeit zu. Die **Solfahrttheorie** behandelt das Problem und besagt kurz zusammengefasst: in steigender Luft langsam fliegen, in sinkender Luft schnell.



**Bild 8:** Pilot A (schwarze Linie) erreicht die höchste Schnittgeschwindigkeit

Ist die Luft sehr trocken, unterbleibt bisweilen die Kondensation der Wasserdampfes und es entsteht „**Blauthermik**“. Da man die Aufwindgebiete jetzt nicht sehen kann, ist es wichtig, sich an Bodenmerkmalen, die die Entstehung von Aufwindblasen begünstigen, zu orientieren. Das Fliegen bei Blauthermik erfordert sehr viel Erfahrung, letzte Rettung in niedriger Höhe sind häufig Raubvögel oder Störche, die wahre Meister im Thermikfliegen sind und Aufwindzonen selbst gerne nutzen.

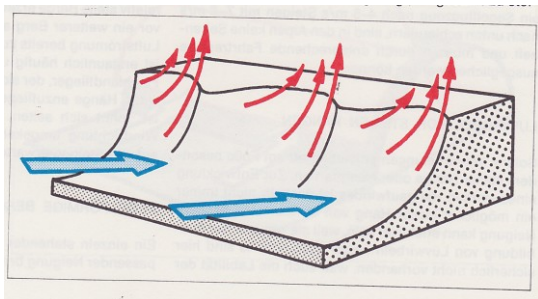




**Bild 9:** Fliegen bei Blauthermik und Suche nach Bodenmerkmalen (hier Kiesgrube, markiert)

Ohne Thermik und selbst im Winter kann man Hangaufwinde und Leewellen hinter (Mittel-) Gebirgen sehr gut nutzen.

Die Entstehung von **Hangaufwind** ist sehr einfach zu verstehen. Weht ausreichend starker Wind (ab 10 kt) möglichst senkrecht auf ein Hindernis, muss er über das Hindernis strömen. Die Vertikalkomponente erreicht dabei leicht Werte, die größer sind als das Eigensinken eines Segelflugzeuges, das dadurch parallel zur Hangkante fliegen kann. Wiehen- und Wesergebirge bieten in Deutschland bei südwestlichen Winden ausgezeichnete Möglichkeiten.



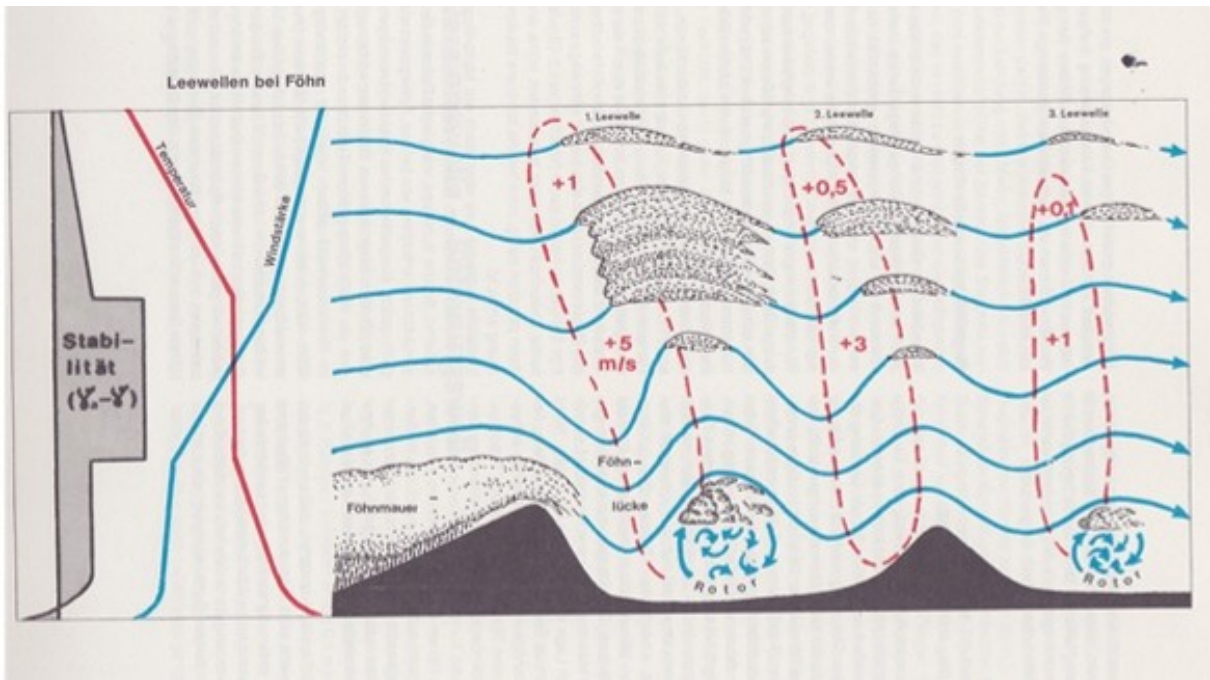
**Bild 10:** Entstehung von Hangaufwind



**Bild 11:** Hangflug am Wiehengebirge

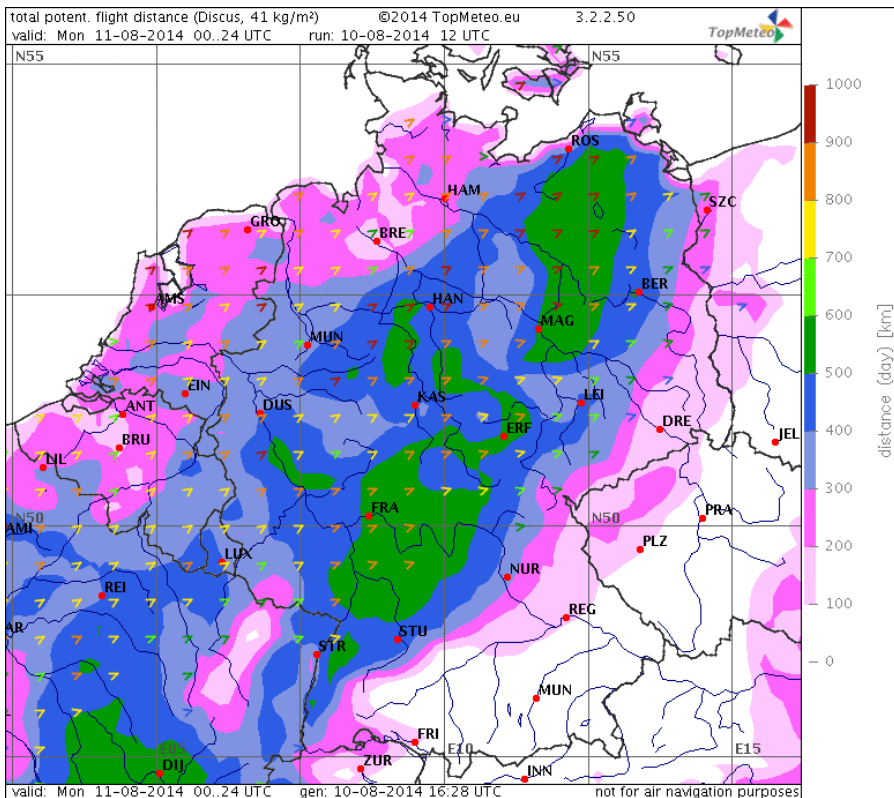
Die Entstehung von **Leewellen** ist etwas komplizierter. Wenn Luft in ansonsten stabiler Schichtung über ein Gebirge gezwungen wird, wird sie danach wieder absinken. Bei einem bestimmten Grad von Stabilität kommt es nicht zur Dämpfung sondern zur Anfachung der Schwingung. In der entstehenden Resonanz schwingt sich die Luftmasse bis in Höhen auf, die die Höhe des auslösenden Hindernisses um ein mehrfaches übersteigen können. Pfälzer Wald, Thüringer Wald und Harz können in Deutschland Flughöhen bis zu 6 km oder mehr ermöglichen.





**Bild 12:** Leewellen hinter einem Gebirge

Die Großwetterlage bestimmt also die Richtung, in die ein Streckenflug von einem Startplatz aus geplant werden kann. In Deutschland mit seiner relativen Enge sind dabei leider auch immer die Beschränkungen, die die **Luftraumgliederung** bedingt, zu beachten.



**Bild 13:** Vorhersagekarte für potenzielle Flugdistanzen (14.08.2014), Quelle: topmeteo.de

### 3 Vorbereitung

Die Vorbereitung eines Streckenfluges beginnt dann, wenn Klarheit über die Wetterlage besteht. Das ist in der Regel am Vorabend des geplanten Fluges der Fall. Wer hilft beim Aufbau des Startes (Aufrüsten oder Ausräumen des Flugzeuges, Windenfahrer, Schlepppilot, Starthelfer)? Welche Navigationskarten werden benötigt? Wer steht im Falle einer Außenlandung als Rückholer zur Verfügung? Ist der Flugzeuganhänger einsatzbereit? Gibt es aktuelle Einschränkungen am Startflugplatz oder Luftraum? Ist der physische Zustand für das Vorhaben ausreichend? Welche Aussenlandemöglichkeiten (evtl. mit Wiederstartmöglichkeit) gibt es entlang der Strecke? Ist das Flugzeug uneingeschränkt klar? Welcher Proviant ist für die geplante Flugdauer passend? Die Vorbereitungen enden erst, wenn die Haube zum Start geschlossen wird und umfassen dann auch die Unterbringung aller im Fluge benötigten Gegenstände, die sicher erreichbar sein müssen.



**Bild 14:** Der Autor startbereit in seinem Discus 2b in Waldeck am 14.08.2014

### 4 Durchführung

Die Durchführung beginnt mit dem **Start**, der als Windenstart oder im Flugzeugschlepp durchgeführt wird.

Die erreichbare Ausklinkhöhe beim preisgünstigeren **Windenstart** hängt von der möglichen Seillänge ab und beträgt etwa 40% dieses Wertes, üblicherweise 300 m bis 500 m. In der Regel muss dann schnell ein Aufwind gefunden werden, um nicht nach etwa 5 Minuten wieder landen zu müssen.

Beim wesentlich teureren **Flugzeugschlepp** können Ausklinkhöhe und -ort beliebig gewählt werden. Üblicherweise klinkt der Segelflugzeugführer sich bei Höhen ab etwa 600 m aus, wenn ein kräftiger Aufwind erreicht ist.



**Bild 15:** Startwinde des Aero Club von Lübeck



**Bild 16:** Start hinter Schleppflugzeug

Beim Kurbeln im ersten Aufwind kann man schnell erkennen, wie die **Thermik** des Tages strukturiert ist. Sind die Bärte eng oder weit, wie stark ist das Steigen? Wie gut sind die Sichten, und wie zerrissen ist die Thermik bei stärkerem Wind?



**Bild 17:** Nach dem Ausklinken bei noch niedriger Wolkenbasis

Startet man in den Vormittagstunden bei einsetzender Thermik, ist es ratsam, zunächst recht vorsichtig zu fliegen, das bedeutet, sich relativ hoch zu halten, um ausreichend Höhe zum Suchen neuer Aufwinde zu haben. Auch empfiehlt es sich, zunächst mit dem Wind vom Startplatz weg zu fliegen, da man bei vorsichtigem Flugstil durch den Windversatz schon Strecke zurücklegen kann. Nimmt die Stärke der Thermik mit höherem Sonnenstand zum Mittag hin zu, kann „mutiger“ geflogen werden. Mit ansteigender Temperatur steigt auch die Wolkenuntergrenze an, bzw. reicht die Blauthermik bis in größere Höhen. In Deutschland werden bei gutem Wetter dann Höhen bis 2500 m oder 3000 m erreicht. Müssen auf dem



geplantem Kurs Gegenwindstrecken geflogen werden, sollten diese zur Zeit des höchsten Sonnenstandes geplant werden, da dann die höchsten Schnittgeschwindigkeiten erreicht werden können. Lässt die Thermik am Nachmittag wieder nach, sollte der Rückweg zum Startplatz wieder mit Rückenwind geflogen werden.

Während des Fluges hat der Segelflieger **viele Aufgaben gleichzeitig** zu erfüllen. Zunächst muss das Flugzeug immer sicher geflogen und muss der Luftraum ständig beobachtet werden. Segelflugzeuge sind wegen ihrer schmalen Silhouette von anderen Flugzeugführern nur schwer auszumachen. Das Zusammenstoßwarngerät FLARM erleichtert diese Aufgabe, aber nicht alle Segelflugzeuge sind damit ausgerüstet. Dann muss die Wetterentwicklung entlang der geplanten Strecke immer beobachtet und beurteilt werden. Es kann sich durchaus lohnen, Umwege zu fliegen, wenn die Bedingungen dort besser sind. Wo entwickeln sich gerade neue Wolken? Welche Wolken zerfallen gerade? Was ist die aktuelle Position? Wurde der geplante Schnitt erreicht? Was melden andere Segelflieger im Funk? Kommt es zu Überentwicklungen oder trocknen die Cumuli ab?

Alle diese Aufgaben sind in extremer räumlicher Enge, im engen Kreisflug mit ansteigender g-Belastung und bei ständigen Druck- und Temperaturwechselln (Auf- und Absteigen) zu erledigen. Das aufzubringende Maß an Konzentration ist sehr hoch und erfordert einen gesunden, besser noch mit Ausdauersport trainierten **Körper**. Ausreichende Flüssigkeitszu- und Abfuhr ist sicherzustellen, ein Sonnenhut ist ein absolutes Muß. Luftige, die Bewegungsfähigkeit nicht einengende und trotzdem wärmende Kleidung ist wichtig.



**Bild 18:** Wetterbeobachtung bei starkem Steigen im engen Kreisflug (Hängewinkel ca. 55°)

Manchmal vertut man sich, das Wetter verschlechtert sich, man hat sich verschätzt – es kommt zur **Außenlandung**. Segelflieger dürfen, wenn es nötig wird, überall landen. Es kommt dabei darauf an, sich rechtzeitig zur Außenlandung zu entschließen. Nur dann kann man ein geeignetes Feld auswählen. Die Kriterien dabei sind: Untergrund, hindernisfreier Anflug, Windrichtung und auch Erreichbarkeit für die Rückholmannschaft. Eine Zuwegung

oder ein Feldweg können die Bergung extrem erleichtern. Nach der Außenlandung ist Geduld angesagt. Ein Gasthof in der Nähe ist dabei sehr hilfreich. In Zeiten von Mobiltelefon und Navi sind die Ortsbeschreibungen für die Rückholer sehr einfach geworden. Vorbei die Zeiten, als Groschen für die Telefonzelle unbedingt zur Flugvorbereitung gehörten!



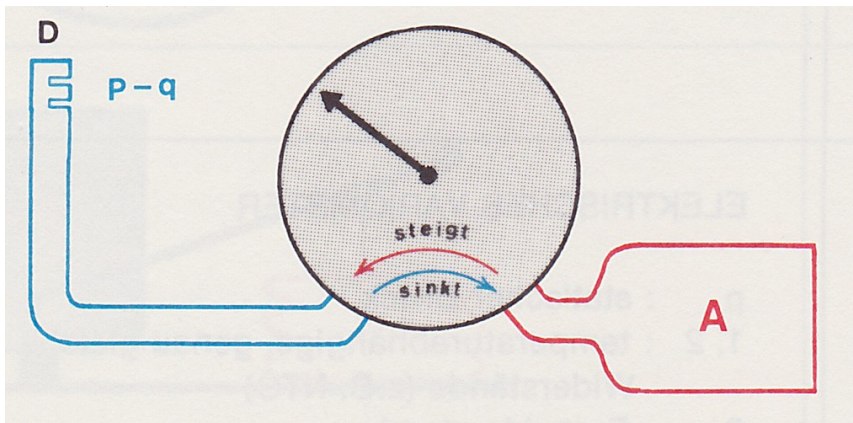
**Bild 19:** Außenlandung auf einer Wiese

Die **Instrumentierung** eines Segelfflugzeuges kann sehr einfach sein. Der Gesetzgeber schreibt lediglich Fahrtmesser, Höhenmesser und Kompaß vor.



**Bild 20:** Instrumentenbrett des Flugzeuges des Autors (Discus 2b)

Von hoher Wichtigkeit ist aber das **Variometer**, das Steigen und Sinken anzeigt. Segelflieger bevorzugen das „totalenergiekompensierte Variometer“, das nicht das Steigen oder Sinken, sondern die Zu- oder Abnahme der Summe aus kinetischer und potenzieller Energie anzeigt. Ein Höhengewinn aus Fahrtreduktion ist kein Energiegewinn und wird nicht angezeigt, genauso wenig wie ein Fahrtgewinn als Folge von Höhengewinn.



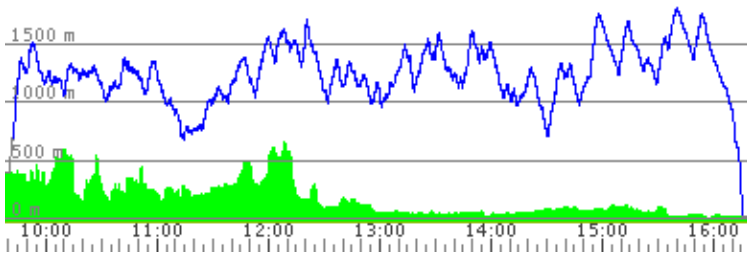
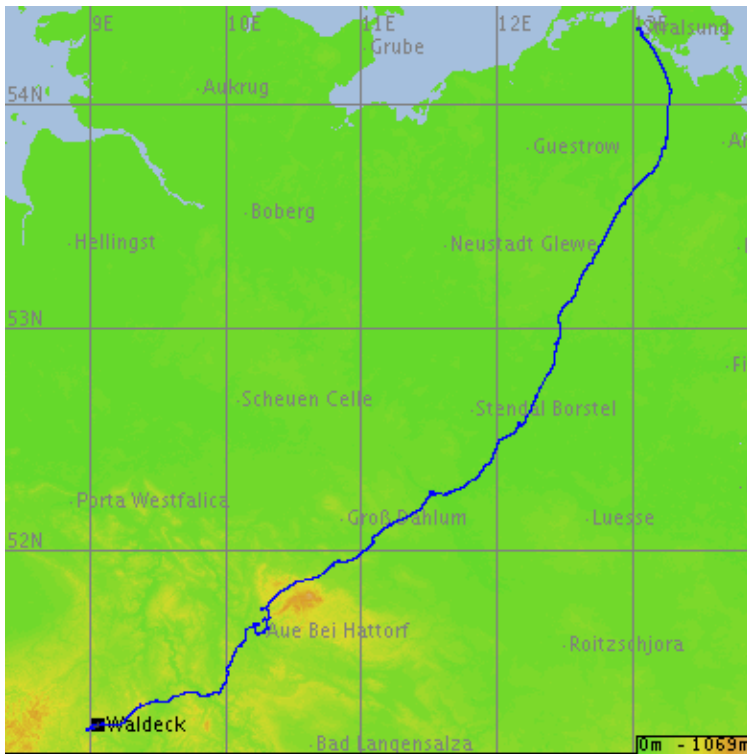
**Bild 21:** Schema eines totalenergiekompensierten Variometers

Gelingt es aber, einen Flug über Hunderte von Kilometern wie geplant zu beenden und nach sechs, sieben oder acht Stunden Flugzeit mit dem Zusammenbrechen der Thermik den Startplatz im langen Gleitflug über vielleicht 50 Kilometer Strecke wieder zu erreichen, stellt sich ein ausgeprägtes Glücksgefühl ein. Die Wetterlage wurde erkannt und genutzt, das Flugvorhaben war nicht zu klein gewählt, so daß Kilometer verschenkt wurden, aber auch nicht zu groß, so daß es nicht beendet werden konnte, und die **Durchführung** war **erfolgreich**. Es ist gelungen, mit Kenntnis der Meteorologie und der Flugmechanik, der Navigation und der Luftraumordnung etwas zu vollbringen, was dem unbedarften Erdenbürger als nicht möglich erscheint, nämlich stundenlang und über große Entfernungen motorlos zu fliegen.

## 5 Wettbewerb

Neben zentralen Wettbewerben gibt es auch einen dezentralen Wettbewerb. Der vom GPS aufgezeichnete Flugweg kann im Internet hochgeladen und ausgewertet werden. Die Eigenschaften der jeweiligen Flugzeugmuster werden durch einen individuellen Index vergleichbar gemacht. Am Ende der Saison werden die Leistungen eines Einzelnen, einer Doppelsitzerbesatzung oder eines Vereins dann vergleichbar. Auch sind einzelne Flüge im Nachhinein auswertbar, man kann aus eigenen Fehlern oder aus den Erfolgen anderer lernen und sich stetig verbessern.





**Bild 22:** Schrieb des Fluges des Autors vom 14.08.2014 von Waldeck nach Stralsund über 503 km

## 6 Fazit

Der Autor, der in fast 25000 Flugstunden sehr viele Flugzeugmuster geflogen hat, sieht den Überlandsegelflug als die hohe Schule des Fliegens an und empfiehlt allen Luftfahrtbegeisterten dringend die Nachahmung!