

Windenschlepp

Sicherheit und optimale Ausklinkhöhe

1 Einleitung

Der Windenschlepp ist nach wie vor die billigste Art, Segelflugzeuge in die Luft zu bringen. Jährlich werden in Deutschland viele zigtausend Windenschlepps durchgeführt. Die Unfallquote ist erfreulich niedrig, aber nicht Null. Ganz klar, jeder Unfall ist einer zu viel. Besonders neue Arten von Winden, Elektrowinden, sehr starke Dieselwinden, die teilweise spezielle Regelungen haben, erfordern dringend, sich mit diesem Thema zu befassen. Dabei darf man ruhig auch daran denken, dass die neuen Winden höhere Schlepps ermöglichen, und wie man diese ohne Konzession an die Sicherheit erreicht. Diesen Problemen widmet sich der nachstehende Text. Jeder Segelflieger sollte sich damit beschäftigen. Vor allem Fluglehrer müssen ihn kennen.

2 Kräfte am geschleppten Segelflugzeug

Jeder, der irgendwelche Probleme des Segelflugs genauer anschaut, sei es Schnellflug, Kreisflug, Böenbelastung, Manöver, Ruderwirkung und und und, bekommt es ständig mit Kräften zu tun, die auf ein Segelflugzeug wirken. Der Windenschlepp macht dabei keine Ausnahme. Leider bekommt man bei Diskussionen zum Windenschlepp den Eindruck, dass dort die wirkenden Kräfte zu wenig beachtet werden. Da eine ausführlichere Beschreibung des Windenschlepps nicht an den wirkenden Kräften vorbeikommt, müssen wir uns allgemein mit Kräften beschäftigen. Keine Angst, wir machen daraus keine Wissenschaft.

Wer die Begründung der Kräfte-Diagramme nicht nachvollziehen kann oder will, der kann sie übergehen. Er muss dann die gefundenen Ergebnisse eben glauben. Dabei muss er nur wissen, dass die Kräfte einer Figur proportional zu den Längen ihrer Pfeile sind. Wenn also in einem solchen Bild ein erster Kraftpfeil länger ist als ein zweiter, dann ist auch die erste Kraft größer als die zweite.

Wir fangen mit einem einfachen Beispiel an, das jeder kennt. Segelflugzeuge können in ruhiger Luft nicht steigen. Sie haben dann eine Sinkgeschwindigkeit und eine Gleitzahl. Das gleichmäßige Gleiten wird normalerweise dargestellt wie in Abb. 1, linkes Bild. Am Flugzeug entsteht eine Auftriebskraft A senkrecht zur Flugrichtung und eine Widerstandskraft W entgegen der Flugrichtung. Beide zusammen müssen das Gewicht G des Flugzeugs tragen.

Schon in diesem einfachen Beispiel hat man es mit drei typischen Kräften zu tun. Auftrieb A und Widerstand W ergeben zusammen eine Luftkraft L . Sie muss genau entgegengesetzt zur Schwerkraft sein. Zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte heben sich auf. Dies gilt damit auch für die drei Kräfte A , W und G . Dieses Vorgehen reicht schon fast aus, um das Wichtigste des Windenschlepps zu verstehen. Nur ein paar kleine Ergänzungen sind nötig.

a) Wenn man Kräfte durch Pfeile darstellt, bedeutet die Länge des Pfeils die Größe der

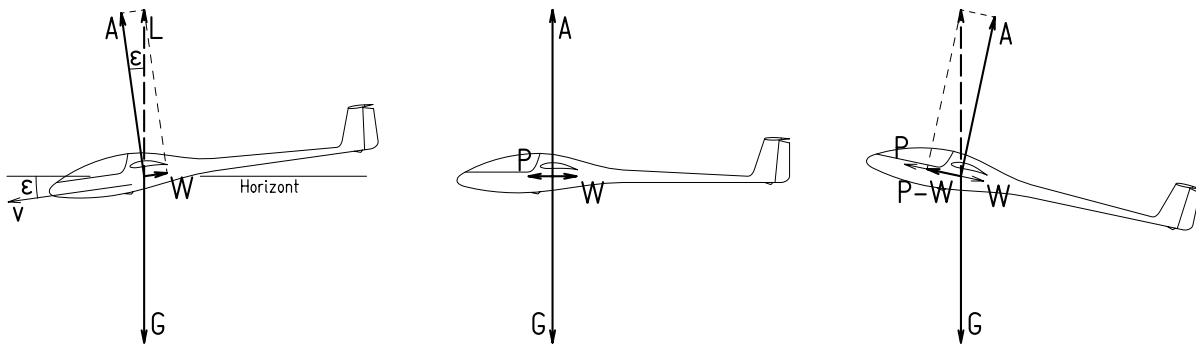


Abbildung 1: Kräfte auf ein Segelflugzeug im Gleitflug

Kraft. Man muss also einen Massstab für die Kraft festlegen, zum Beispiel 1 mm entspricht 100 N. Man kann aber auch festlegen, dass man in einer Zeichnung von Kräften eine Kraft kennt. Dann ist das Verhältnis jeder anderen Kraft zur bekannten Kraft in der Zeichnung durch das Verhältnis ihrer Länge zur Länge der bekannten Kraft gegeben. Bei uns ist die bekannte Kraft meistens das Fluggewicht G des Segelflugzeugs.

- b) Zwei Kräfte, die nicht in der gleichen Richtung wirken, kann man addieren, indem man sie zu einem Parallelogramm ergänzt. Die Summe der Kräfte ist dann die Diagonale in diesem Parallelogramm. Im linken und rechten Bild von Abb. 1 ist das Parallelogramm jeweils ein Rechteck weil die addierten Kräfte zueinander senkrecht sind.
- c) Wenn zwei Kräfte in der gleichen Richtung wirken, darf man sie direkt aneinander anschließen und erhält dadurch ihre Summe. Wenn zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung wirken, entsteht eine Kraft in Richtung der größeren Kraft, deren Größe durch die Differenz der Längen der beiden Kräfte ist.
- d) Wenn an einem Flugzeug alle Kräfte sich aufheben, erfährt es keine Beschleunigung, weder in seiner Bewegungsrichtung, noch senkrecht dazu. Es bewegt sich dann mit konstanter Geschwindigkeit auf einer geraden Bahn. Wenn es sich zu einem Zeitpunkt nicht bewegt, bleibt es in Ruhe. Man sagt, die Kräfte an dem Flugzeug sind im Gleichgewicht.

Damit kann man die beiden anderen Bilder in Abb. 1 verstehen. Wenn ein Segelflugzeug in ruhiger Luft steigen soll benötigt es eine weitere Kraft, zum Beispiel in seiner Flugrichtung, durch ein Seil zu einem vor ihm fliegende Motorflugzeug oder einen Propeller, den es ausfahren kann. Wenn diese Kraft P gleich groß ist wie der Widerstand, entsteht das mittlere Bild. Der Auftrieb muss dann genau so groß sein wie das Fluggewicht, und die Flugrichtung ist waagrecht, es muss dann zwar nicht mehr sinken, kann aber noch nicht steigen. Erst wenn die Kraft P größer ist als der Widerstand, kann es steigen, wie dies im rechten Bild von Abb. 1 gezeigt ist.

Man kann durch die Betrachtung der Kräfte an einem Flugzeug auf einfache Art eine Menge davon verstehen, wie das Flugzeug belastet wird, und welche Bewegungen welche Kräfte benötigen. Die bisherigen Beispiele waren recht einfach. Kaum schwieriger ist das beim Windschlepp, aber wesentlich interessanter. Hier wird wieder ein Seil am Flugzeug eingehängt, das eine Kraft S auf das Flugzeug ausübt. Nur wirkt diese Seilkraft nicht mehr in Flugrichtung, die auch die Richtung der Geschwindigkeit v ist. Um nun Aussagen über die Kräfte zu bekommen, fassen wir Auftrieb A und Widerstand W zur einer Luftkraft L zusammen. Ihre Größe ist fast gleich groß wie der Auftrieb, nur ist die Flugrichtung nicht senkrecht zu L , sondern

zusätzlich um den Gleitwinkel ϵ nach unten geneigt, wie dies schon im linken Bild von Abb. 1 der Fall ist. Als Gleitwinkel ist durchweg 2° benützt, was einer Gleitzahl von 27 entspricht. Andere Gleitwinkel ändern nichts an den grundlegenden Ergebnissen.

Zunächst stellen wir uns vor, das Segelflugzeug ist im Steigflug und will so steigen, dass seine Fahrtmesseranzeige konstant ist, also seine Fluggeschwindigkeit sich nicht ändert. Damit ist keine Beschleunigung da, die Kräfte am Flugzeug müssen sich aufheben. Den Steigwinkel und damit die Richtung der Luftkraft kann der Pilot mit dem Höhenruder steuern. Man muss also immer mehrere Steigwinkel auswerten. Die Richtung der Seilkraft S ist ungefähr durch die Verbindungslinie vom Flugzeug zur Winde gegeben. Genauer bezeichnen wir als Seilwinkel den Winkel, den das Seil direkt am Flugzeug mit der Horizontalen bildet. Bei Stahlseilen ist ein erheblicher Durchhang vorhanden. Der Seilwinkel ist dann größer als ohne Durchhang. Das stört die Überlegungen nicht. Die Gewichtskraft ist immer senkrecht nach unten gerichtet. Ihre Größe ist immer das Fluggewicht des geschleppten Flugzeugs. Die Größen von Luftkraft L und Seilkraft S kennt man zunächst nicht, nur ihre Richtungen. Die beiden müssen aber zusammen genau die Schwerkraft G aufheben. Die Summe aus S und L muss also senkrecht nach oben gehen und genau die Größe der Gewichtskraft haben. Das heisst, man kennt in dem Kräfte-Parallelogramm, das L und S bilden, die Diagonale und die Richtung der Kanten. Damit kann man dieses Parallelogramm und damit die Längen von L und S zeichnen. Diese Konstruktion ist in Abb. 2 für eine Anzahl von Seilwinkeln und Steigwinkeln gezeigt

In der oberen Reihe dieser Bilder ist der Seilwinkel jeweils 10° . Er wird schon in einer relativ geringen Höhe erreicht, grob 10 Prozent der gesamten Seillänge, bei Stahlseilen weniger. Wenn in dieser Höhe schon ein Steigflug mit konstanter Fluggeschwindigkeit erfolgen soll, dann hängt die erforderliche Seilkraft stark vom Steigwinkel ab. Bei einem mässigen Steigwinkel von 30° ist die Seilkraft wesentlich kleiner als das Fluggewicht (der entsprechende Kraftpfeil ist wesentlich kürzer als derjenige der Gewichtskraft). Bei einem Steigwinkel von 40° ist die Seilkraft schon fast so groß wie die Gewichtskraft, bei 50° ist sie schon wesentlich größer! Genau die gleiche Tendenz kann man in der mittleren Zeile der Bilder erkennen, wo der Seilwinkel jeweils 30° ist. Allerdings reichen hier schon jeweils 5° mehr Steigwinkel aus für die kräftige Erhöhung der Seilkraft. In der unteren Reihe der Bilder ist der Seilwinkel jeweils 50° , was im letzten Drittel des Schleppts vorkommt. Hier bewirken jeweil 5° mehr Steigwinkel noch größere Zunahmen der Seilkraft als bei 30° Steigwinkel. Der Pilot steuert durch sein Höhenruder den Steigwinkel, er kann ihn zum Beispiel durch Ziehen vergrößern. Unsere Bildern zeigen deutlich, dass er dann aber wesentlich mehr Seilkraft benötigt um unter dem größeren Steigwinkel gleichmäßig zu steigen.

Man kann natürlich das, was man in dem Bildern geometrisch konstruiert, auch ausrechnen. Dies ist in Abb. 3 geschehen. Dort wurden für verschiedene Seilwinkel die Seil- und Luftkräfte ausgerechnet, die sich für die möglichen Steigwinkel ergeben. Die Ergebnisse sind als Kurven dargestellt. Hier sieht man das, was aus den vielen Bildern von Abb. 2 für einzelne Winkel schon zu erkennen war, noch deutlicher. Im linken Bild geht es um die Seilkraft S . Das Verhältnis S/G ist nach oben abgetragen. $S/G = 1$ bedeutet also, dass die Seilkraft gleich groß ist wie das Fluggewicht G des geschleppten Flugzeugs. Für jeden Seilwinkel von 10° bis 60° ist eine Linie gezeichnet. Die Linie für 10° geht am weitesten nach rechts. Klar, bei den kleinen Seilwinkeln am Anfang des Schleppts kann man am steilsten steigen. Weiter oben, das weiss jeder Pilot, wird der Schlepp immer flacher. Was hier aber noch klarer als in den Bildern von Abb. 2 herauskommt, ist die Tatsache dass bei größeren Seilwinkeln die Seilkraftlinien wesentlich steiler verlaufen, Man kann also dort durch weniger oder mehr Ziehen schon große Änderungen der für Steigen mit gleicher Fahrt erforderlichen Seilkraft erreichen. Ganz ähnlich

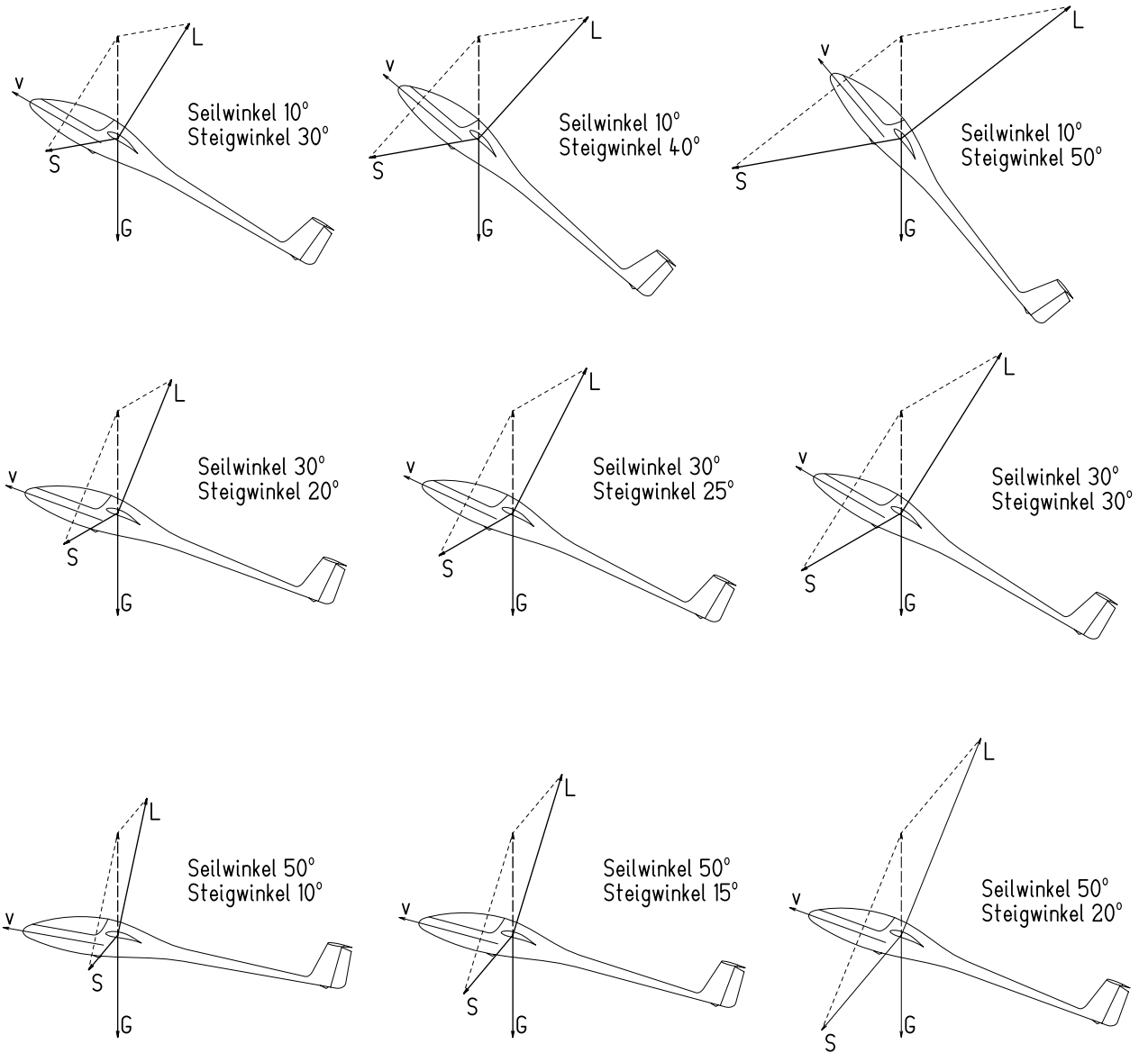


Abbildung 2: Kräfte auf ein Segelflugzeug im Windeschlepp

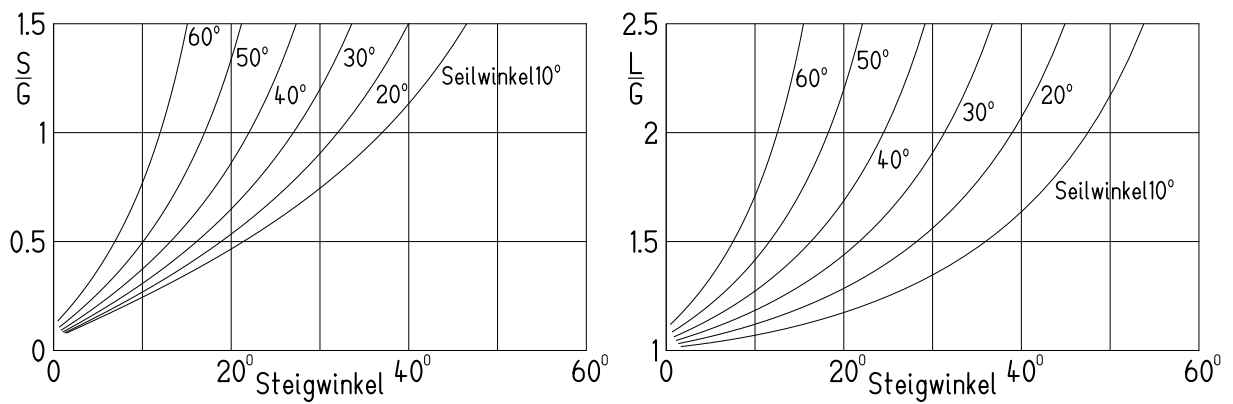


Abbildung 3: Seilkraft- und Luftkraft-Kurven über dem Steigwinkel für verschiedene Seilwinkel

sieht es auch im rechten Diagramm mit der Luftkraft L aus. Man muss beachten, dass in diesem Diagramm L/G vom Wert 1 nach oben geht, Die Luftkraft also immer größer ist als das Gewicht. Der Wert $L/G = 2$ bedeutet hier, dass die Luftkraft schon doppelt so hoch ist wie im freien Flug, wo sie ja gerade das Gewicht des Flugzeugs tragen muss. Auch die Luftkraftlinien verlaufen die für höhere Seilwinkel wieder steiler als diejenigen für niedrige Seilwinkel. Darauf wird im Abschnitt 3 zurückgekommen.

3 Bisherige Schleppmethoden

Hier erkennt man schon ein zentrales Problem des Windenschlepps. Die Seilkraft spielt eine entscheidende Rolle beim Windenschlepp, aber weder der Pilot noch der Windenfahrer kennt sie (normalerweise). Wenn man untersuchen will, wie neue starke Winden, auch Elektrowinden, sich auf die Taktik und die Ausbildung im Windenschlepp auswirken, dann ist es unbedingt nötig, zunächst einmal zu fragen, wie das bisher 60 Jahre lang ganz gut funktioniert hat, ohne dass viel über die Seilkraft gesprochen wurde. Allenfalls wenn die Sollbruchstelle einmal gerissen ist, hat man bemerkt, dass die Seilkraft zu hoch war.

Im Grund hat der Pilot einen normal steilen Schlepp gemacht, der ohne Gegenwind ungefähr eine Höhe von 35 Prozent der zur Verfügung stehenden Schleppstrecke erreicht hat, und der Windenfahrer musste so schleppen, dass der Pilot im Schlepp eine normale Fahrt hatte. Der Pilot hat dem Windenfahrer, manchmal per Funk schon im Schlepp, oder nachträglich gesagt er soll schneller oder langsamer schleppen. Dadurch bekam der Windenfahrer Erfahrung, mit welcher Motor- oder Trommeldrehzahl er die einzelnen Flugzeuge schleppen musste, je nachdem, welche Instrumente er hatte. Diese Taktik hing aber sehr davon ab, wie steil die einzelnen Piloten steigen wollten und wieviel Gegenwind vorhanden war. Außerdem nimmt die Drehzahl während des Schlepps ständig ab.

Schauen wir uns einmal die bis September 2009 gültigen Bestimmungen für den Steigflug des Windenschlepps an. Sie stehen in drei verschiedenen Broschüren, die von der Segelflugkommission des Deutschen Aeroclubs herausgegeben werden, nämlich den Startwindenfahrer-Bestimmungen (Juni 1999), der Segelflugsport-Betriebs-Ordnung, SBO, (Januar 2001) und Segelflugausbildung (Mai 2003). Der Einfachheit wegen kürzen wir hier die Startwindenfahrer-Bestimmungen mit SWFB ab. In ihnen steht unter 2.11. Steigflug

1. Die Seilgeschwindigkeit während des Schlepps ist so zu bemessen, dass die Startfluggeschwindigkeit möglichst konstant bleibt, ist dabei zu beachten, dass bei zunehmender Höhe andere Windverhältnisse vorherrschen können.
2. Die richtige Schleppgeschwindigkeit liegt etwa 10 bis 20 Prozent über der normalen Gleitfluggeschwindigkeit des Segelflugzeugs.
3. Um dem Segelflugzeugführer ein deutliches Zeichen zum Ausklinken zu geben, muss der Startwindenfahrer spätestens bei Erreichen eines Seilwinkels von 70 Grad die Seilgeschwindigkeit auf Null bringen.
4. Wenn der Startvorgang in einem Abschnitt nicht normal verlaufen ist, soll der Segelflugzeugführer den Startwindenfahrer oder den Startleiter davon in Kenntnis setzen.

und unter 2.12, Anhaltspunkte für das Beurteilen der Schleppgeschwindigkeit

1. Der Startwindenfahrer beobachtet den Seildurchhang. Der Seildurchhang ist ein sicheres Zeichen für die am Seil und am Segelflugzeug auftretenden Kräfte.
2. Der Startwindenfahrer beobachtet gleichzeitig die Lage und die Steiggeschwindigkeit des Segelflugzeugs. Seildurchhang, Fluglage und Steiggeschwindigkeit ergeben Anhaltspunkte für die Startfluggeschwindigkeit.

In der SBO steht unter 2.1 Windenstart über den Steigflug sehr wenig, nämlich

- 2.1.14 Im Steigflug darf die Normalfluggeschwindigkeit nicht unterschritten und die höchstzulässige Geschwindigkeit im Windenstart nicht überschritten werden.

Nach dem Abheben ist ein nicht zu steiler Anfangssteigflug durchzuführen der ab einer Sicherheitshöhe von ca. 50 Meter allmählich in die volle Steigfluglage übergeht. Abrupter Übergang in den Steigflug ist unbedingt zu vermeiden.

Bei Seitenwind muss der Pilot des geschleppten Segelflugzeugs gegen den Seitenwind entsprechend vorhalten, um ein zu weites Abtriften des ausgeklinkten Windenseils zu vermeiden.

Im Heft Segelflugausbildung, das wohl keine rechtlich verbindlichen Vorschriften enthält, steht unter

1.8.1 Windenstart

Steigflug

Ab Erreichen der Sicherheitshöhe (min. 50 m GND) hat das Segelflugzeug allmählich die volle Steigfluglage einzunehmen. Abrupter Übergang in den Steigflug ist unbedingt zu vermeiden. **Kontinuierliche Fahrtkontrolle.** Zu niedrige oder zu hohe Schleppgeschwindigkeit: Ausklinken und Nachdrücken. Kontrolle der Steigfluglage durch seitliches Hinaussehen. Richtungthalten (Hilfe: Lage zur Sonne, oder Wolkenpunkt anpeilen). Bei Seitenwind Vorhalten durch entsprechenden Seiten- und Querruderausschlag. Orientierung anhand von Bodenmerkmalen. Vor Erreichen der Ausklinkhöhe allmählicher Übergang in die Normalfluglage. (Die Hervorhebung der kontinuierlichen Fahrtkontrolle wurde nur im vorliegenden Text eingeführt, weil sie wichtig ist und sonst in keiner Vorschrift zu finden ist.)

Die Vorschriften von SBO und SWFB enthielten einige problematische Teile. Zunächst muss klargestellt werden, Startfluggeschwindigkeit und Schleppgeschwindigkeit bezeichnen das gleiche, nämlich die Fahrtmesseranzeige im geschleppten Segelflugzeug. Sie wird hier einfach als Fahrt bezeichnet. Die Seilkraft ist weitgehend vermieden. Sie taucht allerdings im Zusammenhang mit dem Seildurchhang doch auf. Genau dieser Seildurchhang ist aber bei Kunststoffseilen so klein, dass aus ihm nicht mehr auf die Seilkraft geschlossen werden kann. Schliesslich ist die Sicherheitshöhe von 50 m sehr fragwürdig und wird nicht so eingehalten wie dies in den Vorschriften steht, nämlich in ihr der Übergangsbogen zum Steigflug beginnt. Dies könnte man sogar so auffassen, dass man oberhalb von 50 m weniger Fahrt haben darf. Praktisch kann man davon ausgehen, dass dort der Übergangsbogen eher beendet ist. Entscheidend für die Sicherheit des Schleppts ist die Fahrt in jedem Abschnitt des Schleppts!! Sie muss ebenso wie im freien Flug genügend weit über der Mindestfahrt liegen. Die Größe der Mindestfahrt wird in Abschnitt 5 ausführlich besprochen. Besonders bei neueren starken Winden besteht ein erhebliches Sicherheitsproblem. Man darf sich bei ihnen nicht auf die bisher gewohnten Geschwindigkeiten im Schlepp verlassen. Einige tödliche Unfälle schon im ersten Vierteljahr

2009 sprechen eine dramatische Sprache. Hier war also Dringlichkeit und Eile geboten. Die Bestimmungen über die Fahrt im Schlepp mussten verbessert werden.

4 Klare Regeln für den Windenschlepp

Die Bilder in Abb. 2 haben deutlich gezeigt, dass der Pilot um so mehr Seilkraft benötigt, je steiler er steigen will. Die Seilkraft hängt vom Motor der Winde und davon ab wieviel Gas der Windenfahrer gibt. Darauf hat aber der Pilot ebenso wenig Einfluss wie der Windenfahrer auf das Höhenruder des Piloten. Der Windenfahrer muss also für jedes zu schleppende Segelflugzeug aus Erfahrung eine gewisse Menge Gas geben und darauf achten, dass die Sollbruchstelle des Seils nicht reißt. Wie kann aber der Pilot feststellen, wie steil er bei der allein von der Winde und dem Windenfahrer gesteuerten Seilkraft steigen kann?? Er kann! Man muss nur das, was schon klar beschrieben wurde, von der anderen Seite her betrachten. Ebenso wie zu jedem Steigwinkel eine „richtige“ Seilkraft geht, gehört jeder Seilkraft ein richtiger Steigwinkel, bei dem die Fahrt konstant bleibt. Steigt der Pilot steiler als mit dem richtigen Steigwinkel, verliert er Fahrt, steigt er flacher, holt er Fahrt auf. Er kann also seine Fahrt genau wie im freien Flug durch mehr oder weniger Ziehen selbst steuern, und er muss dies unbedingt auch tun! Er reguliert damit seinen Steigwinkel genau so, dass die dazu erforderliche Seilkraft mit der von der Winde gelieferten übereinstimmt. Natürlich muss er wissen, welche Fahrt er dabei benötigt.

Der Windenfahrer hat dann nur noch die Aufgabe, so zu schleppen, dass der Pilot seine Fahrt leicht regeln kann. Das ist einfach, er muss nur so gleichmäßig wie möglich schleppen, also das Gas nur sehr langsam ändern, wenn überhaupt. Je nach dem Gewicht des geschleppten Flugzeug muss er sein Gas so wählen, dass die Sollbruchstelle nicht überlastet wird.

Die klaren Regeln lauten also:

Der Windenfahrer schleppt so gleichmäßig wie möglich. Er passt sein Gas an das geschleppte Segelflugzeug und die eingehängte Sollbruchstelle an.

Der Pilot steuert seine Fahrt durch sein Höhenruder, wie im Freiflug.

Welche Fahrt der Pilot benötigt, um sicher zu fliegen, muss noch ausführlich diskutiert werden, Siehe Abschnitt 5.

Diese Regeln bedeuten auch, dass der Windenfahrer nicht verantwortlich sein kann, wenn der Pilot im Steigflug zu viel zieht und damit zu langsam wird. In dieser kritischen Situation kann der Windenfahrer fast nichts mehr richtig machen. Früher galt die Regel, dass der Windenfahrer in diesem Fall Vollgas geben muss. Dies ist sehr problematisch, denn der Windenfahrer erhöht dadurch die Seilkraft, das Segelflugzeug benötigt noch mehr Auftrieb, der bei seiner geringen Fahrt gar nicht möglich ist. Es wird noch sicherer Strömungsabriss bekommen, lange bevor das höhere Gas die Geschwindigkeit erhöhen könnte, was ja langsam erfolgt.

Das Vollgas kann bei den früher üblichen schwachen Winden gerade noch gerechtfertigt gewesen sein, die ohnehin meistens fast mit Vollgas geschleppt haben. Heute muss der Windenfahrer in dieser kritischen Situation ganz vorsichtig das Gas erhöhen. Er kann dann nur noch hoffen, dass der Pilot durch weniger Ziehen langsam Fahrt aufholt bevor er seitlich abschmiert. Verantwortlich für diese Situation war schon immer der Pilot, und das muss so bleiben. Man muss diese Art von immer schweren Unfällen reduzieren, indem schon bei der Schulung peinlich

genau darauf geachtet wird dass der Pilot seine Fahrt ständig im Auge hat und richtig steuert.

Nebenbei, der Pilot kann natürlich die optimale Höhe erreichen, wenn er im Steigflug immer die größtmögliche Seilkraft bekommt. Dies ist eine konstante Seilkraft in einem sicheren Abstand unterhalb der Nennlast der Sollbruchstelle. Solange der Windenfahrer seine Seilkraft nicht kennt, also keine Seilkraftmessung zur Verfügung steht, kann er sich nur von unten an die richtige Seilkraft heran tasten. Dabei sollte er im unteren Teil des Schlepps besonders vorsichtig sein. Wenn die Sollbruchstelle reißt, hat er zu viel Seilkraft gehabt. Dies sollte er höchstens im letzten Drittel des Schlepps riskieren. Er kann sich aber darauf verlassen, dass der Pilot mehr zieht, wenn er mehr Seilkraft zur Verfügung hat. Die erreichte Höhe ist also ein gutes Kriterium für eine gut dosierte Seilkraft. Der Windenfahrer tut also gut daran, sich die erreichte Höhe jeweils durchsagen zu lassen. Natürlich muss er auch die Sollbruchstelle kennen, die eingehängt wird. Auch die Drehzahlmesser von Motor und Trommel geben ihm Hilfen. Wenn der Pilot mehr zieht, reduziert sich die Trommeldrehzahl.

Eine Schwierigkeit besteht noch darin, dass die meisten Winden einen Wandler zwischen Motor und Seiltrommel haben, der einsetzt, bevor die minimale Motordrehzahl erreicht wird. Dann entsteht ein Schlupf zwischen Motor und Trommel, der zur Verstärkung des Trommel-Drehmoments und damit der Seilkraft ausgenutzt wird. Der Windenfahrer kann das Einschalten des Wandlers meist nicht feststellen. Dadurch wird die Seilkraft automatisch erhöht. Je nach Einstellung des Wandlers erfolgt dies erst im allerletzten Teil des Schlepps, oder auch schon früher. Die meisten Fliegergruppen haben diesbezügliche Erfahrungen. Die einen haben einen ziemlichen Verbrauch von Sollbruchstellen, die immer mehr oder weniger kurz von dem Ausklinken reißen, die anderen kennen dieses Problem kaum. Bei gutem Gegenwind ist immer die Seilgeschwindigkeit kleiner, dann reißen die Sollbruchstellen früher, aber immer in genügend großer Höhe, wodurch kaum Gefahr von Unfällen besteht. Bei entsprechend eingestelltem Wandler muss eigentlich der Windenfahrer im letzten Teil des Schlepps mit dem Gas zurückgehen. Es ist bei solchen Winden aber auch zu empfehlen, dass auch die Piloten im letzten Teil des Schlepps nicht mehr die letzte Höhe herausholen.

Insgesamt sind die gegebenen Regeln für den Steigflug sehr klar und einfach. Viele Piloten und Windenfahrer befolgen sie schon lange. Beide wissen genau, was sie zu tun haben. und wofür sie verantwortlich sind. Durch die im September 2009 durchgeführten Änderungen wurde die Vorschriften an die neuen Erkenntnisse angepasst.

5 Die minimale Fahrt im Windenschlepp

Hier geht es wieder um ein zentrales Problem des Windenschlepps. Schon im Freiflug ist das Fliegen mit zu kleiner Geschwindigkeit sehr gefährlich, denn dabei kann es zum Strömungsabriss und zum seitlichen Abschmieren kommen. Jeder Flugschüler lernt dies in seiner Ausbildung intensiv kennen. Ein Pilot mit Schein, der zum ersten Mal auf einem neuen Flugzeugtyp fliegt, muss so bald wie möglich in genügend Höhe das Verhalten dieses Flugzeugs im Langsamflug erfiegen. Im Windenschlepp ist der Strömungsabriss noch gefährlicher, weil er aus nach oben geneigter Fluglage erfolgt und ein Abschmieren nicht abgefangen werden kann. Zudem ist die Minimalgeschwindigkeit im Windenschlepp wesentlich höher als im freien Flug. Man muss sie unbedingt kennen.

Auch hier liefert das rechte Diagramm von Abb. 3 wichtige Grundlagen. Nicht nur die Seil-

kraft S , sondern auch die Luftkraft L nimmt zu, wenn der Steigwinkel größer wird. Genau das Verhältnis L/G bestimmt aber den Faktor, um den die Minimalgeschwindigkeit gegenüber derjenigen im Freiflug erhöht wird. Dies kann man mit dem Fliegen mit Wasserballast vergleichen. Jeder Pilot weiss, dass er mit Ballast eine höhere Minimalgeschwindigkeit hat. Genau genommen erhöht sie sich mit der Wurzel aus der erforderlichen Auftriebskraft. Wenn also das Fluggewicht durch Ballast um einen Faktor 1.44 erhöht wird (um 44 Prozent), was schon sehr viel ist, dann nimmt die Minimalgeschwindigkeit um 20 Prozent zu. Nun kann man aus den Bildern aber leicht sehen, dass die Auftriebskraft im gleichmäßigen Schlepp wesentlich mehr Ballast entspricht, besonders bei steilen Schleppts. Dieses Problem ist bisher zu wenig beachtet worden, wahrscheinlich hat es sich bei schwächeren Winden nicht so deutlich gestellt. Die Minimalgeschwindigkeit ist aber ein zentrales Sicherheitsproblem des Windenschleppts! Man muss unbedingt wissen, wie hoch sie ist und wovon sie abhängt.

Man könnte hier argumentieren, dies ist ein Problem des Flug- und Betriebshandbuchs. Dort muss aber nur die maximale Geschwindigkeit im Windenschlepp enthalten sein. Und wo im Handbuch eine Windenschleppgeschwindigkeit empfohlen ist, besteht die Gefahr, dass sie für schwächere Winden und schwächere Sollbruchstellen gilt und die Zunahme bei hohem Steigwinkel nicht berücksichtigt ist. Man muss auch davon ausgehen, dass die vorgeschriebene Sollbruchstelle oft nicht eingehalten wird. Es hat sich inzwischen herumgesprochen, dass man mit Einsitzern wesentlich mehr Höhe herausholen kann, wenn man sich ungefähr so schleppen lässt wie ein Doppelsitzer. Dazu muss man auch die Sollbruchstelle des Doppelsitzers benützen. Dabei wird oft nicht gesagt dass man dann wesentlich mehr Fahrt haben muss, weil die Minimalgeschwindigkeit stark zugenommen hat. Dieses Problem hat bei der Verbesserung der gültigen Vorschriften für den Windenschlepp eine wichtige Rolle gespielt. Es ging darum, die in den gezeigten Bildern klar erkenntlichen Tatsachen in möglichst einfache Vorschriften umzusetzen und dabei keine Konzessionen an die Sicherheit zu machen. Leider ist es unmöglich, eine einheitliche relativ hohe Geschwindigkeit für alle Schleppts vorzuschreiben. Diese kann mit vielen schwächeren Winden und schwereren Flugzeugen gar nicht erreicht werden. Dort sind aber die Steigwinkel überhaupt nicht möglich, bei denen man die hohen Minimalgeschwindigkeiten hat.

Wie nun einfache Regeln finden, die in die Vorschriften eingearbeitet werden können? Dazu ist es hilfreich, noch ein anderes Diagramm anzusehen. Wir gehen jetzt davon aus, dass die Winde eine ungefähr konstante Seilkraft liefert. Dann kann man für jeden Seilwinkel die Luftkraft ausrechnen. Dies ist für verschiedene Werte der Seilkraft S/G in Abb. 4 dargestellt. Dabei ist immer noch stationärer Steigflug mit konstanter Geschwindigkeit vorausgesetzt. Der Übergangsbogen zum stationären Steigflug wird später getrennt bearbeitet. Die Luftkraft L/G nimmt im Verlauf des Schleppts, also bei zunehmendem Seilwinkel, zu und nähert sich gegen Ende des Schleppts dem Wert $1 + S/G$, den sie nicht übersteigt. Das ist erklärlich, denn gegen Ende des Schleppts haben Seilkraft, Gewicht und Luftkraft ähnliche Richtungen, Siehe untere Reihe von Abb. 2. Der Wert $1 + S/G$ würde erreicht, wenn alle drei Kräfte die gleiche Richtung hätten. Man ist also auf der sicheren Seite, wenn man die Seilkraft S ebenso wie einen Ballast berücksichtigt. Dies kann man mit einer einfachen Formel darstellen,

$$\frac{V_{sw}}{V_{s1}} = \sqrt{1 + \frac{S}{G}}$$

Das bedeutet, $S/G = 0,5$ erhöht die Minimalgeschwindigkeit um einen Faktor 1.22 oder 22 Prozent, $S/G = 1$ um den Faktor 1.41 oder 41 Prozent, $S/G = 1,5$ um den Faktor 1.58 oder 58 Prozent. Diese Werte gelten auch dann, wenn sich die Seilkraft während des

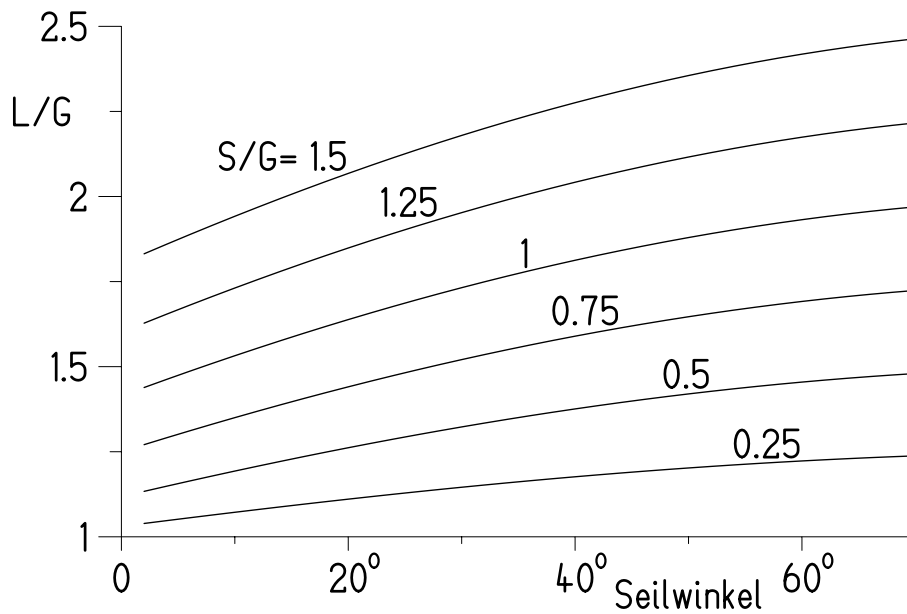


Abbildung 4: Luftkraft L/G bei verschiedenen konstanten Seilkräften S/G

Schlepps langsam ändert. Der Pilot kann sich darum kaum kümmern. Er sollte für jeden Schlepp eine sichere Minimalgeschwindigkeit kennen. Sie muss dann mit der höchsten möglichen Seilkraft gebildet werden.

Schauen wir einmal ein paar Beispiele an.

Gegeben eine Winde, die einen Kunststoff-Doppelsitzer mit Flugmasse 600 kg mit Vollgas schleppt, ohne Gegenwind. Das Fluggewicht ist dann 5884 N. Nehmen wir einmal an, die maximale Seilkraft sei 70 Prozent des Fluggewichts, also 4118 N. Die sichere Minimalgeschwindigkeit muss dann um einen Faktor 1,30 oder 30 Prozent erhöht werden. Der Pilot hält diese Geschwindigkeit sorgfältig ein.

Eigentlich müsste für jede Winde ein Volllast-Diagramm vorhanden sein, aus dem man die maximale Seilkraft entnehmen kann. Das kann man leider nicht allgemein voraussetzen. Wie kann man ohne dieses Diagramm vorgehen? Man muss Vergleiche mit Winden machen, für die das Diagramm vorhanden ist. Wenn man mit einer Winde mit 4200 N maximaler Seilkraft und gleicher Fluggeschwindigkeit die gleiche Ausklinkhöhe erreicht, hat man eine ungefähr gleiche maximale Seilkraft. Ganz allgemein kann man mit Hilfe der Ausklinkhöhen brauchbare Anhaltspunkte für die Seilkraft bekommen. Eine wesentlich genauere Methode ist natürlich, sich ein Messelement zu borgen, das man ins Windenseil einhängt. Es zeigt die Seilkraft recht genau und kann sie je nach Bodenstation auch speichern, dann kann sie nachträglich aufgezeichnet werden.

Eine andere Orientierung hat man mit der Nennlast der Sollbruchstelle

Jetzt kommt an die obige Winde ein Kunststoff-Einsitzer mit 400 kg Flugmasse. Er hängt die für sein Flugzeug vorgeschriebene blaue Sollbruchstelle mit Nennlast 600 DaN oder 6000 N ein. Der Windenfahrer weiss, dass er diese Sollbruchstelle mit seiner Winde nicht knackt und schleppt mit Vollgas. Dann ist die alte maximale Seilkraft jetzt 105 Prozent des Fluggewichts

und es muss eine Erhöhung der Mindestgeschwindigkeit um mindestens 43 Prozent beachtet werden. Er wird natürlich eine wesentlich höhere Ausklinkhöhe bekommen als der Doppelsitzer.

Als nächster hängt ein Doppelsitzer mit 750 kg Flugmasse ein. Jetzt ist die Seilkraft nur noch 56 Prozent des Fluggewichts, die Minimalgeschwindigkeit um 25 Prozent erhöht.

Die bisher vorausgesetzte Winde ist nicht sehr stark, sie dürfte bei 150 kW liegen. Heute sind wesentlich stärkere Motoren in den neuen Winden, Bei ihnen ist es sehr wichtig, die gelieferten Seilkräfte genauer zu wissen, denn sie dürfen die Sollbruchstelle nicht reißen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Prinzip die Sollbruchstellen nicht oberhalb ihrer Nennlast brechen dürfen. Da sie aber sehr viele Starts aushalten müssen, brechen sie oft schon unterhalb ihrer Nennlast. Es ist also mit der Seilkraft ein Sicherheitsabstand von der Nennlast einzuhalten, der unterschiedlich angegeben wird, zwischen 20 und 30 Prozent. Der Einsitzer im obigen Beispiel hält gerade 30 Prozent Abstand ein. Will er noch steiler steigen und damit mit noch mehr Seilkraft geschleppt werden, was mit einer stärkeren Winde durchaus möglich ist, dann muss er eine stärkere Sollbruchstelle einhängen und, wichtig, noch höhere Geschwindigkeiten einhalten.

Auf jeden Fall muss der Pilot seine Fahrt im Windenschlepp ständig überwachen und seine Minimalgeschwindigkeit gut kennen. Es ist absolut lebensgefährlich, im Schlepp die Mindestfahrt zu unterschreiten!

6 Die optimale Ausklinkhöhe

Wie schon im Abschnitt 4 erwähnt wurde, kann der Pilot um so steiler steigen, je mehr Seilkraft er zur Verfügung hat. Er kann also die maximale Ausklinkhöhe erreichen, wenn der Windenfahrer ihm den ganzen Steigflug über eine möglichst große Seilkraft zur Verfügung stellt, bei der die Sollbruchstelle nicht reißt. Dies ist natürlich nur theoretisch erreichbar, solange der Windenfahrer seine Seilkraft nicht kennt. Es ist vielleicht trotzdem interessant zu wissen, welche Steigwinkel möglich sind, wenn der Windenfahrer eine konstante Seilkraft liefert. Dies ist in Abb. 5 gezeigt. Hier ist der Seilwinkel nach rechts aufgetragen und der Steigwinkel nach oben. Die verschiedenen Linien gelten jeweils für ein konstantes Verhältnis S/G . Es sind die Linien für vier Werte $S/G = 0.4, 0.8, 1.2$ und 1.6 dargestellt. Der Steigwinkel nimmt natürlich immer ab, wenn der Seilwinkel steigt. Er nimmt aber immer zu, wenn man von einem Wert S/G auf einen höheren übergeht. Dies ist aufgrund der bisherigen Überlegungen nicht überraschend. Interessant ist aber, wieviel das ausmacht. Offenbar macht die Steigerung der Seilkraft von $S/G = 0.4$ auf 0.8 mehr aus als diejenige von 1.2 auf 1.6 . Die letzten beiden Linien liegen enger zusammen als die beiden ersten. Eine allzu hohe Seilkraft bringt also nicht mehr so viel. Nun, $S/G = 1.6$ ist ohnehin ein sehr hoher Wert, den man kaum praktisch realisieren kann. Dagegen kann $S/G = 1.2$ mit starken Winden bei Einsitzern gut erreicht werden.

7 Abheben

Alles, was bisher hergeleitet wurde, hat auf dem einfachen Gleichgewicht der Kräfte beruht, das im Steigflug mit konstanter Fahrt vorhanden sein muss. Dabei wurden die drei Kräfte immer von einem Punkt aus gezeichnet, meistens war dies der Schwerpunkt des Flugzeugs. Damit vernachlässigt man eine weitere Wirkung von Kräften, die vor allem im ersten Abschnitt des Schleppts eine wichtige Rolle spielen. Wie kann man das erklären? Dazu betrachten wir einmal

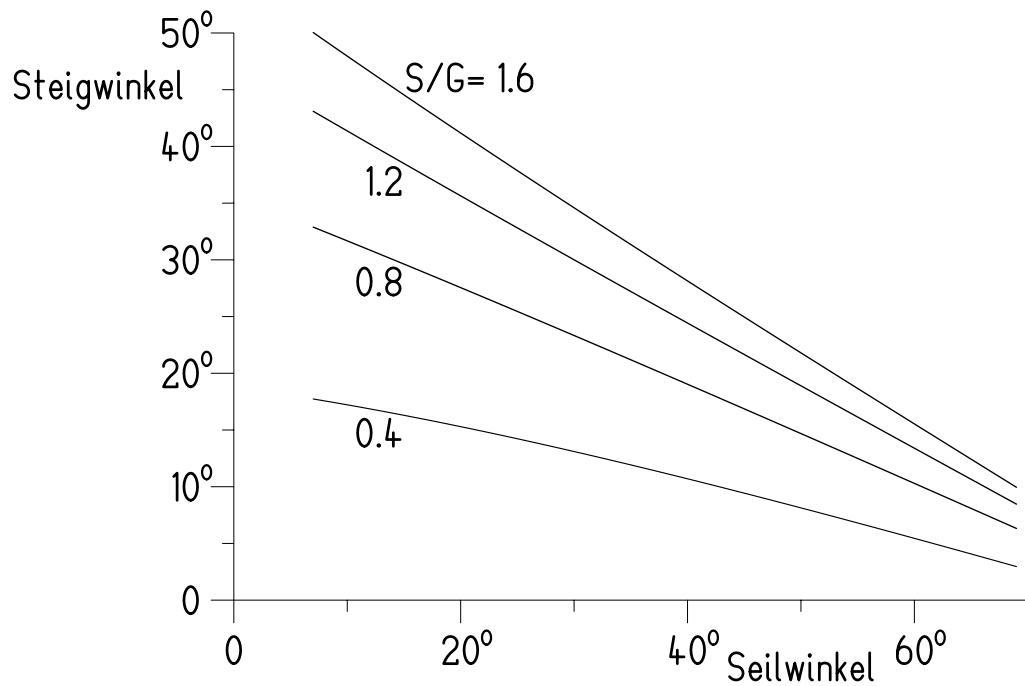


Abbildung 5: Steigwinkel bei verschiedenen konstanten S/G

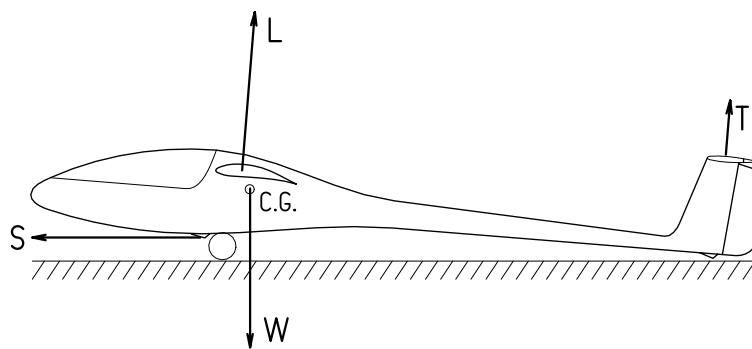


Abbildung 6: Drehmomente beim Abheben

das Anrollen und Abheben des Segelflugsiegs Siehe Abb. 6. Jeder kennt es, bei Segelflugsiegs, die im Stand außer auf dem Haupttrad auf einem vorderen Rad stehen, ist der Sporn im Stand nicht am Boden. Sowie ein solches Flugzeug angeschleppt wird, hebt das vordere Rad ab sich und der Sporn geht nach unten, oft schlägt er mit einem erheblichen Bumser am Boden auf. Was geschieht dabei? Der Schlüssel zu diesem Geschehen ist die Hebelwirkung der Kräfte, wobei man sich das Flugzeug in Schwerpunkt drehbar gelagert vorstellen muss. Wenn sich die Hebelwirkungen (Drehmomente) der Kräfte um den Schwerpunkt nicht aufheben, fängt das Flugzeug an, sich zu drehen, im beschriebenen Fall von der Seite gesehen um seine Querachse. Beim angeschleppten Flugzeug ist das Seil nahe am Boden in die Schleppkupplung eingeklinkt, der Schwerpunkt liegt höher, abhängig vom Flugzeug. Schulter- und Hochdecker haben meistens eine höhere Schwerpunktlage. Die Seilkraft hat also eine erhebliche Hebelwirkung bzw. ein Drehmoment um den Schwerpunkt, die zugehörige Drehung hebt die Nase an und senkt das Heck. Diese Drehung setzt sofort ein, wenn nicht andere Kräfte entgegengesetzte Hebelwirkungen haben. Dies ist bei dem auf dem vorderen Rad aufsitzenden Flugzeugen der Fall. Wenn aber der Sporn am Boden ist, wirkt vom Boden eine Kraft nach oben auf den Sporn.

Der Hebelarm dieser Kraft zum Schwerpunkt ist groß. Es entsteht eine große Hebelwirkung entgegengesetzt zu derjenigen des Seil. Das Flugzeug dreht sich nicht, solange der Sporn am Boden ist. Man sagt, das Gleichgewicht der Momente ist vorhanden.

Nun hebt aber das Flugzeug langsam ab, die Hebelwirkung der Seilkraft ist aber noch da. In dem Augenblick, in dem der Sporn den Boden verlässt, kann über ihn die Hebelwirkung der Seilkraft nicht mehr ausgeglichen werden. Jetzt kann nur das Höhenleitwerk die Funktion des Sporns übernehmen. Es muss eine erhebliche Auftriebskraft aufbringen, die die Hebelwirkung der Seilkraft ausgleicht. Das Höhenleitwerk hat in allen Fluglagen und Flugzuständen die Funktion, das Gleichgewicht der Hebelwirkungen oder Drehmomente auszugleichen. Normalerweise ist man sich dessen nicht bewusst. Man weiss einfach, wie das Höhenruder wirkt, man regelt damit die Fahrt, man fängt bei der Landung ab, man macht gelegentlich einen Looping, man steigt mehr oder weniger steil im Steigflug des Windenschlepps, das Flugzeug macht immer, was man will. Fast immer. Kurz nach dem Abheben des Sporns im Windenschlepp kann es passieren, dass die Höhenruderkraft nicht ausreicht um das Drehmoment der Seilkraft auszugleichen. Dann bäumt sich das Segelflugzeug auf, es entsteht ungewollt der sogenannte Kavaliertart, der höchst gefährlich ist. Natürlich gibt es auch Fälle, in denen der Kavaliertart dadurch entsteht, dass der Pilot absichtlich zu schnell in den Steigflug übergeht. Das ist eine Frage der Ausbildung. Besonders mit starken Winden kann man aber so anschleppen dass der Pilot das Aufbäumen gar nicht verhindern kann! Diese Gefahr muss man sehr ernst nehmen. Besonders kritisch ist der Augenblick, in dem der Sporn abhebt und die Zeit kurz danach.

Eine genauere Untersuchung ergibt die folgenden Merkmale, die das unbeabsichtigte Aufbäumen begünstigen.

- a) Die Seilkraft im Verhältnis zum Fluggewicht S/G , die auch die im Anrollen vorhandene g -Beschleunigung ist. $S/G = 0.5$ bedeutet $0.5 g$ Beschleunigung oder 5 m/sec pro Sekunde. Bei dieser Beschleunigung erreicht man in 4 Sekunden 20 m/sec oder 72 km/h und legt dabei etwa 40 m zurück.
- b) Die Höhe h des Schwerpunkts über der Schleppkupplung im Verhältnis zur mittleren Flügeltiefe t_m . Schulterdecker haben meist einen höheren Schwerpunkt als Mitteldecker. Flugzeuge mit kleiner Flügeltiefe sind im Nachteil, Doppelsitzer haben es leichter als Einsitzer.
- c) Die Längsstabilität des geschleppten Segelflugzeugs. Flugzeuge, die auf das Höhenruder sehr empfindlich reagieren, sind im Nachteil. Genauer geht es um den Höhenleitwerks-Volumkoeffizienten C_v

$$(\text{Höhenleitwerksfläche} \times \text{Leitwerksabstand}) / (\text{Flügelfläche} \times \text{mittlere Flügeltiefe}).$$
 Er ist die bestimmende Größe für das Längsstabilitäts-Mass und hat meistens einen Wert ungefähr zwischen 0.4 und 0.5 .
- d) Profil und Bauart des Höhenleitwerks. Höhenleitwerke mit dünnen Profilen liefern weniger Auftrieb. Gedämpfte Höhenleitwerke sind besser als Pendelleitwerke. Die entscheidende Größe ist das Verhältnis der Auftriebsbeiwerte von Höhenleitwerk und Flügel c_{aH}/c_a
- e) Die Vorlage der Schleppkupplung vor dem Schwerpunkt. Weit vorn angebrachte Kuppelungen haben den Vorteil, dass das Aufbäum-Moment der Seilkraft stark nachlässt, sowie der Steigwinkel zunimmt.

Die sichere g -Beschleunigung im Zeitpunkt des Sporn-Abhebens wird im wesentlichen durch die folgende Formel bestimmt

$$\frac{S_{max}}{G} = \frac{t_m}{h} C_v \frac{C_a(Hlw)}{C_a}$$

S_{max} = Maximal erlaubte Seilkraft beim Abheben

G = Fluggewicht

t_m = mittlere Flügeltiefe

h = Höhe des Schwerpunkts über der Schleppkupplung

C_v = Höhenleitwerks-Volumkoeffizient

$C_a(Hlw)$ = maximaler Auftriebsbeiwert des Höhenleitwerks

C_a = Auftriebsbeiwert des Flügels beim Abheben

Praktisch kann man davon ausgehen, dass die Beschleunigung von $0.5g$ beim Abheben nicht oft übertroffen wird. Insbesondere Doppelsitzer bekommen dabei kaum Probleme. Man kann also die Aufbäum-Neigung in der Doppelsitzerschulung kaum spüren. Einsitzer haben bei ungefähr gleicher Schwerpunkthöhe kleinere Flügeltiefen als Doppelsitzer, außerdem werden sie oft mit höherer Beschleunigung angeschleppt. Die Aufbäumneigung ist dann höher als in der Schulung. Das muss unbedingt schon in der Schulung klar gesagt werden. Erfahrungsgemäß passieren auch bei Einsitzern nur wenige Kavaliertarts. Es gibt aber Segelflugzeuge, die in dieser Richtung mehr anfällig sind, z.B. Club-Libelle, Standard-Libelle, Phoebus C. Man kann dies bestätigen indem man mit der obigen Formel arbeitet. Es ergeben sich Werte von S_{max}/G bis 0.25 und sogar darunter. Solche Flugzeuge müssen unbedingt sehr vorsichtig, also mit deutlich weniger als $0.5g$ angeschleppt werden. Insbesondere muss klar gesagt werden, es gibt bei einigen Segelflugzeugen die Möglichkeit, sie so anzuschleppen, dass sie den Kavaliertart und die damit verbundene Lebensgefahr nicht verhindern können. Hierfür ist der Windenfahrer verantwortlich.

Die Aufbäum-Neigung von Flugzeugen kann vermindert werden indem man den Roll-Anstellwinkel verkleinert, also den Sporn vergrößert und/oder das Fahrwerk weniger weit nach unten herausragen lässt. Dies ist aber nicht unbedingt sicher, denn im Anrollbereich können Bodenwellen vorhanden sein, die den Anstellwinkel vergrößern.

8 Der Übergangsbogen zum Steigflug

Der Übergangsbogen zum Steigflug muss immer besonders beachtet werden. Nicht umsonst heisst es in allen Vorschriften, ein abrupter Übergang in den Steigflug ist unbedingt zu vermeiden. Was steckt dahinter?

Der entscheidende Gesichtspunkt besteht darin, dass im Übergangsbogen die Flugbahn gekrümmt ist, wie bei einem Looping oder einem Abfangen aus schnellem Flug. Dabei entsteht eine Fliehkraft nach aussen, die nur durch eine zusätzliche Luftkraft ausgeglichen werden kann. Allerdings ist sie nicht so groß wie bei einem Looping oder einem harten Abfangen. Dort spürt man schon an der Sitzfläche, wie man durch die Fliehkraft nach unten gedrückt wird. Es gibt eine einfache Regel, wie man die g -Belastung infolge der Fliehkraft ausrechnen kann. Sie ist proportional zur Fahrt und zur Drehgeschwindigkeit, mit der sich die Nase anhebt, z.B. $10^\circ/\text{Sekunde}$. Dann fliegt man einen Übergangsbogen auf 40° Steigwinkel in vier Sekunden. Wenn dabei die Fahrt 90 km/h ist, dann ist die g -Belastung $10 \times 90 / 2023 = 0.445$. Es ist also

eine zusätzliche Luftkraft entsprechend $0.445 g$ erforderlich. Die Seilkraft merkt kaum etwas davon. Aber der Ballast, der die gleiche Erhöhung der Luftkraft bewirken würde, ist allein 45 Prozent des Fluggewichts. Im Übergangsbogen ist also die Mindestgeschwindigkeit noch einmal um einiges höher als im stationären Schlepp mit dem gleichen Steigwinkel.

Glücklicherweise wird der Übergangsbogen am Anfang des Schlepps geflogen, also bei niedrigen Seilwinkeln geflogen. Aus dem rechten Diagramm von Abb. 3 kann man entnehmen dass bei den kleinen Seilwinkeln die Luftkraft ohne die Zentrifugalkraft noch relativ klein ist. Praktisch wird die größte Luftkraft immer im letzten Teil des Schlepps erreicht. Damit reichen die im Abschnitt über die Mindestgeschwindigkeiten angegebenen Werte auch für einen zahm oder anständig geflogenen Übergangsbogen aus.

9 Zusammenfassung

Der Windschlepp an der Schwerpunktkupplung ist eine beliebte, billige, umweltfreundliche Startart für Segelflugzeuge seit fast 60 Jahren. Leider gibt es dabei auch schwere Unfälle, die besonders in den letzten Jahren wieder zugenommen haben. Daran sind neue, starke Winden, auch Elektrowinden besonders beteiligt. Es könnten auch Vorschriften beteiligt sein, die für die neuen starken Winden nicht mehr gelten. Es ist also dringend nötig die Gefahren des Windschlepps genau zu beschreiben und in die Köpfe aller Piloten und Fluglehrer zu hämmern. Dies ist in erster Linie die höhere Minimalgeschwindigkeit im Schlepp und die Gefahr des Kavalleriestarts, die durch die starken Winden wieder höher geworden ist. Es bleibt zu hoffen, dass der vorliegende Text zur Sicherheit, aber auch zu höheren Ausklinkhöhen beitragen kann.

Es hat sich bei allen Untersuchungen gezeigt, dass die von der Winde erzeugte Seilkraft eine entscheidende Rolle spielt, die bisher kaum gemessen wurde. Neuere Entwicklungen zur Messung der Seilkraft und einer Anzeige derselben für den Windenfahrer können Sicherheit und Effektivität erhöhen. Diese Entwicklung sollte nach Kräften unterstützt werden.