

Der sichere Windenstart

Computersimulation und
Kunststoffseile eröffnen neue
Aspekte

Der sichere Windenstart

- **Berechnung der Startverläufe mit Computersimulation.**
- Die Tabellenkalkulation zur Berechnung der Startkurven wurde primär anhand des Formalismus von **Dr. Udo König**, veröffentlicht im **Aerokurier 1 / 78 aufgebaut**.
- Hierbei wird in jedem Augenblick des Starts Kräftegleichgewicht zwischen dem Gewicht des Flugzeugs, der Luftkraft, und der angebotenen Seilkraft der Winde hergestellt. Das variable Lastvielfache (L/G) variiert man so lange, bis für den momentan berechneten Höhenwinkel dieses Kräftegleichgewicht herrscht. Daraus ergibt sich, je nach Seilkraftangebot von Anfang an ein genau zu bestimmender Steigwinkel. Die stetige Aneinanderreihung von kleinen Streckenabschnitten im Sekundentakt ergibt dann die Startkurve in ihrem Höhenverlauf.
- Der Höhenwinkel zwischen Seil und Boden ist anfangs null und beim Ausklinken, wenn kein Höhengewinn mehr möglich ist, ca. 80 grad.

Der sichere Windenstart

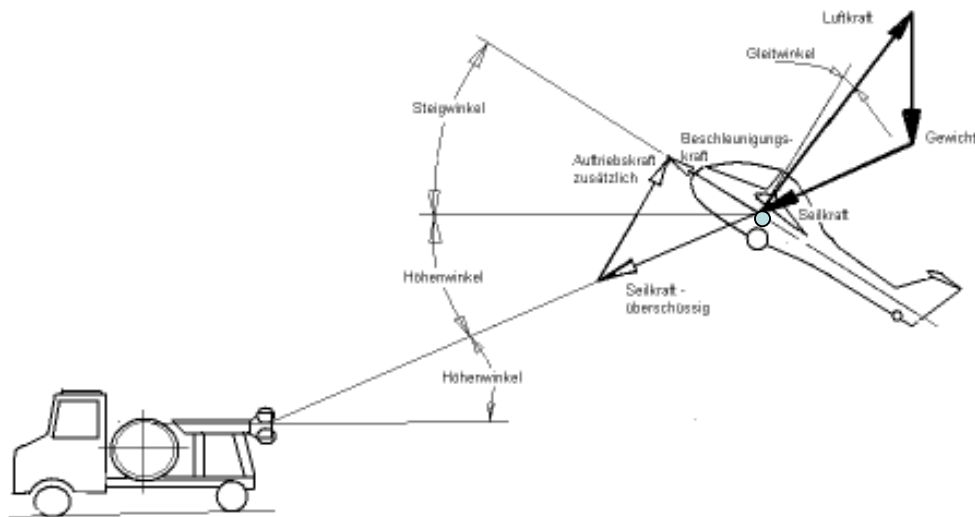


Bild 2
Kräftegleichgewicht
mit Beschleunigung

Der sichere Windenstart

- **Dynamische Betrachtung während der Beschleunigungs - phase und die Mindestgeschwindigkeit im Schlepp**
- Um herauszufinden, in welchem Geschwindigkeitsbereich das Flugzeug nach dem Abheben und im späteren Steigflug vordringt bzw. wieder abfällt, wurde die rein statische Betrachtung des Kräftegleichgewichtes um eine Betrachtung der dynamischen Beschleunigung ergänzt. Dies ist in Bild 2 veranschaulicht.
- Dabei wird der Überschuss an Seilkraft beim anfänglich mehr oder weniger flachen Steigflug in eine Beschleunigungskraft umgerechnet.
- Hieraus ergeben sich zwangsläufig Beschleunigungswerte in Flugrichtung **und in Auftriebsrichtung**, welche zu Fahrterhöhung **und Vergrößerung des Lastvielfachen** führen. Daraus folgt wiederum eine weitere Erhöhung der Mindestgeschwindigkeit gegenüber dem unbeschleunigten Start.
-
- **Die Mindestgeschwindigkeit** im Schlepp ist abhängig vom Flugzeugtyp und vom aktuellen Gesamt - Lastvielfachen. Zur Beurteilung der Sicherheit während des gesamten Schleppverlaufes, wurde die Mindestgeschwindigkeit für jede Phase des Starts exakt bestimmt. Daraus entstand die Berechnung des jeweils aktuellen **Fahrtüberschusses, der die Sicherheit** im Windenstart markiert.

Der sichere Windenstart

- **Erreichen der Mindestfahrt**
- Irgendwann kann, im Steigflug infolge dem stetigen Anstieg des Lastvielfachen, ein Flugzustand nahe der Mindestfahrt erreicht werden. Es empfiehlt sich deshalb für den Piloten im oberen Bereich des vollen Steigfluges höhere Fahrten (bei schweren Flugzeugen bis ca. 140 km/h) einzusteuern. Die Fahrt wirkt sich primär (Gott sei Dank) überhaupt nicht auf die erreichbare Ausklinkhöhe aus. Es wird im Gegenteil bei zu wenig Fahrt wegen der geringeren aerodynamisch erzielbaren Auftriebswerte auch weniger Steigwinkel und Höhe erreicht.
- **Selbstregelung bei Laststeuerung**
- Die Simulation beweist, dass bei richtiger Auswahl des lastgesteuerten Windenantriebes die Selbstregelung für einen harmonischen Start sehr gut funktioniert, wenn der Windenfahrer entsprechend der angehängten Startmasse Gas gibt. Für kleinere Startmassen muss die Leistung über den Fahrhebel von Anfang an reduziert eingestellt werden, auch um die Anfangsbeschleunigung und Seilkräfte in den Betriebsgrenzen zu halten. Geschieht dies im Verhältnis der Startmassen, wird also ein 325 kg schwerer Einsitzer mit etwa Halbgas geschleppt, so ergibt sich der gleiche harmonische Startverlauf und eine ähnliche Startkurve wie bei Vollgas und einem 650 kg schweren Doppelsitzer.
- **Der Pilot kann mit dem Höhenruder die Fahrt bestimmen. Durch Ziehen wird der Schlepp langsamer, und durch Drücken schneller.**

Der sichere Windenstart

- **Belastung des Flügels und die Sollbruchstelle.**
- Der Faktor L/G ist wie bereits ausgeführt, beim Windenstart das Verhältnis zwischen Luftkraft und Gewicht des Flugzeugs, und entspricht im freien Flug dem Lastvielfachen.
- **Beim Windenstart ist der Flügel jedoch wegen der fehlenden Flügelmassenentlastung um ungefähr 1g höher belastet.** Dies ist exakt dann der Fall, wenn der Flügel ein Drittel zur Gesamtmasse beiträgt, und von einem maximalen, realisierbaren Lastvielfachen von 3 am Ende des Schlepps ausgegangen wird. Der Flügel wäre dann einer Belastung von 4 g ausgesetzt, und die Seilkraft nimmt den doppelten Wert des Fluggewichtes an.

Als **Mindest-Bruchlast der Sollbruchstelle** muss nach der gültigen Bauvorschrift aber lediglich 130 % des Fluggewichtes **nachgewiesen** werden. Eine Mehrzahl der Segelflugzeuge erlauben maximal um die 150 %. So ist schon aus diesem Grund das Erreichen vom 3-fachen Lastvielfachen nicht möglich, weil vorher im oberen Teil des Schlepps die Sollbruchstelle bricht. Bei einer Seilkraft von 150 % des Gewichts wird das Lastvielfache 2,5 und die max. Belastungen am Flügel **weniger als 3,25g, also ca. 60%** der sicheren Bruchlast.

Der sichere Windenstart

- **SOLLBRUCHSTELLENTHEMATIK**
- Wie oben erwähnt, sind die Sollbruchstellen einiger, vor allem älterer Flugzeuge sehr schwach ausgelegt. Dies hat hauptsächlich historische Gründe. Es bedeutet aber, dass der Antrieb einer zeitgemäßen Winde zwecks optimaler Ausklinkhöhe oft gar nicht ausgenützt werden kann. Vor allem stellt es ein unnötiges Sicherheitsrisiko dar, das aber nur vom Flugzeughersteller bzw. vom Gesetzgeber befriedigend beseitigt werden kann. In der Praxis sind diese Probleme seit langem bekannt. Man behilft sich oft mit stärkeren Sollbruchstellen, um Ärgernisse und Gefahren im Flugbetrieb abzuwenden. Dies ist natürlich kein befriedigender Zustand.
- **Nach Meinung des Verfassers sollte das Verhältnis von Sollbruchstellenlast zu Fluggewicht bei 1,75 bis 2,0 liegen, da der anfängliche Steigflug mit 45 Grad schon den Faktor 1,43 erfordert und auch noch Toleranzen zu berücksichtigen sind. Diese Werte sollten den Herstellern für deren Dimensionierungen bzw. Nachprüfung vorgeschrieben werden.**

Der sichere Windenstart

- **Die wichtigsten Merkmale zur Durchführung eines sicheren Windenstarts:**
- **Für den Piloten**
- Nach dem Abheben, bei einer Fahrt von 20 km/h über der Mindestfahrt, langsam in einen Bahnneigungswinkel von 20 - 40° übergehen, abhängig von Fahrtzunahme bzw. Windenmotorisierung.
- Erst bei einer Fahrt von 40 bis 50% über der Mindestfahrt kann, wegen dem dann vorhandenen großen Fahrtüberschusses, in den vollen Steigflug übergegangen werden.
- Hierbei, und auch im anschließenden Steigflug, jedes dynamische Überziehen unbedingt vermeiden. Man riskiert sonst auch bei hoher Geschwindigkeit einen Strömungsabriss bzw. mit hoher Wahrscheinlichkeit den Bruch der Sollbruchstelle.
- Bei evt. Überschreiten der zulässigen max. Schleppgeschwindigkeit die Maschine nachdrücken.
- Im oberen Teil des Schlepps eine Fahrt von 60 % über der Mindestfahrt einsteuern. Dies verhindert auch weitgehend einen Bruch der Sollbruchstelle.

Der sichere Windenstart

- **Die wichtigsten Merkmale zur Durchführung eines sicheren Windenstarts:**
- **Für den Windenfahrer**
- Zügiges Anschleppen mit der an das Flugzeuggewicht angepassten Fahrhebelstellung bis zu einer Seilgeschwindigkeit von ca. 30 km/h über der Abhebegeschwindigkeit.
- Hierbei Windkomponente berücksichtigen.
- Falls der Pilot im vollen Steigflug die Maschine nachdrückt, und die Motordrehzahl zunimmt, war der Schlepp zu schnell. Sofort Gas zurücknehmen.
- Vor Erreichen der max. Seilkraft entsprechend der eingesetzten Sollbruchstelle im oberen Teil des Schlepps Fahrhebel langsam und kontinuierlich zurücknehmen.

Der sichere Windenstart

- **Windenmotorisierung und Bauvorschriften**
- Was die Auslegung und Motorisierung betrifft, so sollten die Vorschriften nach BFST, die eigentlich keine Gültigkeit mehr besitzen, in Hinblick auf eine leistungsgerechtere Vorschrift überarbeitet werden. Denkbar wäre z.B. ein Leistungsnachweis, der einen Mindeststeigwinkel von 30° garantiert. Die Vorschrift könnte auch um eine Anmerkung über die Motorregelung ergänzt werden.
- Als ein ökonomisch sehr guter Kompromiss erscheint nach einem Blick auf die Tabelle 1 die 400-PS Motorwinde mit Wandler. Mit dieser können praktisch Ausklinkhöhen am Optimum bis 650 kg Startmasse erreicht werden.
- Die 400 - PS Winde bringt auch ein 850 kg - schweres Flugzeug noch sicher auf knapp 400 m, bei einem max. Steigwinkel von 33 Grad und einer Seillänge von 1000 m.
- Die 320 - PS - Winde mit Wandler verliert gegenüber der 400 - PS Winde annähernd 45 m an Ausklinkhöhe bei Doppelsitzern, und stellt mit einem max. Steigwinkel von 29 ° praktisch die untere Grenze zum Starten von 850 kg - schweren Flugzeugen dar.
- Die Nenn-Seilgeschwindigkeit der Winde liegt optimal bei ca.110 km/h. Für höher liegende Flugplätze mit entsprechend weniger Luftdichte, sollten 120 km/h angesetzt werden, sowie eine um ca. 20 % höhere Motorleistung.

Der sichere Windenstart

- **Fazit**
- **Winden**, die entsprechend den Leistungsanforderungen zum Starten moderner Doppelsitzer ausgelegt sind, erreichen auch eine sehr gute Startbeschleunigung um 10 m/s^2 . Sie bieten deshalb, sowie durch die höheren, realisierbaren Fahrtüberschüsse und Ausklinkhöhen nicht zuletzt eine wesentliche Verbesserung der Effizienz und der Sicherheit im Windenstart.
- **Der Windenstart** ist und bleibt eine sehr ökonomische und bei richtiger Windenauslegung und Bedienung auch sichere Startart. Die aus der Computersimulation gewonnenen Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass in keiner Phase des Schleppe irgendwelche versteckte Gefahren lauern, die nicht vom Piloten rechtzeitig erkannt, bzw. durch richtige Bedienung vermieden werden können. Die Statistik bestätigt diese Einschätzung. Es passieren im Vergleich zum F-Schlepp bezogen auf die Anzahl der Starts, **ca. 22 % weniger gravierende Unfälle**. Hierbei ist auch zu sehen, daß für den Windenfahrer, im Gegensatz zum Tow-pilot kein potentiell Sicherheitsrisiko besteht.

Der sichere Windenstart

- **Neue Aspekte mit Kunststoffseil**
 - **Vorteile**
 - Weitaus besseres Handling
 - Sehr gute Spleissbarkeit
 - Weniger Gefahren durch herabfallendes oder peitschendes Seil
 - Bis zu 20 % mehr Ausklinkhöhe
 - weniger Verschleiß durch geringere Bodenreibung
 - Höhere Haltbarkeit von ca. 4000 Starts gegenüber 3000 bei Stahlseil
 - **Die Perspektive für den Höhenstarts** bis auf 1400 m
 - **Nachteile**
 - Noch ca. 3-fach höherer Preis gegenüber Stahlseil

Der sichere Windenstart

- **Das Höhenstartwindenprojekt H 3000 mit Kunststoffseil**
- Erste Versuche 1998 in Fürstenfeldbruck mit 3000 m 3,2 mm Federstahldraht auf 1200 m bei Windstille mit der INTEGRALE
- Höhengschlepps im Jahr 2005 in Frankreich mit 3000 m Dyneema auf 1250 m mit Elektro Winde
- Neueste Computersimulationen versprechen 1350 m bei 650 kg Startmasse mit 360 PS - Winde und Dyneema ohne Windeinfluss
-
- **Erfordernisse bei Verwendung von langem Kunststoffseil**
- Glatte Seilführung
- Kappvorrichtung mit Blockschnitt
- **Hochfeste Seiltrommel** aus Flugzeug-Aluminium
- Vorteile bringen auch Azimutrollen aus Aluminium und Verbesserungen an den seitlichen Vertikalrollen aus Aluminium (Entwicklung Tost)

H 125 - INTEGRALE

