

Achtung – Windgradient im Landeanflug!

Unfallbericht: Ein Gleitschirmpilot fliegt in Bassano den Landeplatz am Hotel an. Der Windsack auf der Baumspitze zeigt starken Südwind. Am Landeplatz selbst ist kaum Wind zu spüren. Durch den starken Wind ist der Endanflug ziemlich hoch und steil. Der Pilot hat den Schirm mäßig abgebremst. In ca. zehn Metern Höhe sackt der Schirm etwas durch, fliegt kurz scheinbar normal weiter und stürzt dann aus ca. sieben Metern ab. Ein Absturz trotz gefühlt normalen Steuerdrücken, nicht extremem Anbremsen und relativ stabilem Flugweg. Die folgenden Zeilen sollen diese Phänomene erklären und helfen, solche Unfälle zu vermeiden.

Text Peter Cröniger

In letzter Zeit häufen sich Unfälle durch Abstürze im Landeanflug. Wir fliegen bei immer größeren Windgeschwindigkeiten und in immer turbulenzreichere Landeplätze. Längere Steuerwege und deutlicher Steuerdruck helfen bei diesen Bedingungen nur bedingt. Viele Gleitschirmpiloten und auch Drachepiloten reagieren bei Durchsacken im Endanflug nicht optimal. Meteorologische Ursache ist bei verwirbelten und teils durch Gebäude und Bäume abgeschirmte Landeplätze das Phänomen des Windgradienten.

Unter Windgradient verstehen wir die Änderung der Windstärke – aber auch der Richtung – bei Bodenannäherung. Da wir normalerweise gegen den Wind anfliegen, wird der Gegenwind durch die zunehmende Bodenreibung weniger. Starker Wind, lokale Inversionen oder Leerturbulenzen verstärken diesen Effekt. Abnehmender Gegenwind bedeutet für das Fluggerät langsamere Strömung und damit abnehmenden Auftrieb (eigentlich korrekt: abnehmende totale Luftkraft). Das Gleichgewicht aus Gewichtskraft und totaler Luftkraft ist gestört; das Fluggerät sackt durch, um sich die verlorene Geschwindigkeit wieder zu holen. Da die Geschwindigkeit quadratisch in den Auftrieb eingeht, ist die Auswirkung durchaus dramatisch. Bei Halbierung der Strömungsgeschwindigkeit, sinkt der Auftrieb auf ein Viertel seines ursprünglichen Wertes.

Beispiel: Fluggeschwindigkeit gegenüber der Luft von 40 km/h und ein Strömungsgeschwindigkeitsverlust durch einen Windgradienten von 20 km/h ergibt bei einem ursprünglichen Gewicht von 100 kg eine resultierende Luftkraft von nur mehr 25 kg. Das daraus resultierende Durchsacken könnte nur vermieden werden, wenn der Pilot vor Einsetzen des Gradienten 20 km/h Überfahrt aufgebaut hätte und diese im richtigen Moment aufgibt und durch Anstellwinkelerhöhung kompensiert. Ist die Überfahrt nicht vorhanden, würde bei einer Anstellwinkelerhöhung der kritische Anstellwinkel überschritten = die Minimalfahrt unterschritten, und das Fluggerät geht in den Sackflug bzw. Stall. Der Drache ist in der Lage, Überfahrt in dieser Größenordnung aufzunehmen, der Gleitschirm leider nicht. Als Fazit bleibt, dass der Gleitschirm so schnell wie vertretbar in einen Windgradienten einfliegen soll, jedoch Situationen mit erkennbarem starkem Windgradienten unbedingt zu meiden sind. ▶

Erläuterungen

Windgradient: Unter Windgradient verstehen wir die Abnahme der Windstärke bei Bodenannäherung. Abnehmender Gegenwind bedeutet für das Fluggerät langsamere Strömung und damit abnehmenden Auftrieb. In der Luftfahrt wird der Windgradient auch als Windscherung bezeichnet (Englisch: wind-shear). Es gibt speed loss shear (=Geschwindigkeitsverlust) und speed gain shear (=Geschwindigkeitgewinn).

Einstellwinkel: Winkel zwischen der Profilsehne und dem Horizont. Der Winkel, den der seitliche Betrachter zwischen dem Untersegel und dem Horizont sieht. Im Trimmflug ist der Einstellwinkel fast null Grad.

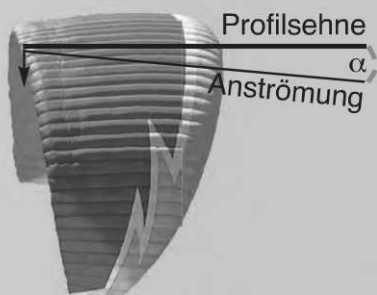
Anstellwinkel: Winkel zwischen Profilsehne und Anströmung. Der Winkel, den der seitliche Betrachter zwischen dem Untersegel und dem Flugweg bei Windstille sieht. Der Pilot bräuchte einen Windspion um den Anstellwinkel zu sehen. Winkel zwischen Windspion und Untersegel. Den Einstellwinkel kann man auch in einer Momentaufnahme sehen, den Anstellwinkel nur bei längerer Betrachtung des Flugweges. Der Einstellwinkel wird oft fälschlicherweise mit dem Anstellwinkel gleichgesetzt.

Strömungsabriss: Wird der kritische Anstellwinkel überschritten, bricht der dynamische Auftrieb zusammen; der Gleitschirm geht über den Sackflug in den Stall. Da die Piloten in der Regel nur Geschwindigkeitsmesser und keine Anstellwinkelsensoren im Flug mitführen, wird zur Vereinfachung dem Strömungsabriss eine bestimmte Geschwindigkeit zugeordnet, nicht ein Winkel. Diese Geschwindigkeit ist nur ein Näherungswert für ein bestimmtes Gewicht und für den stationären Flug. Der Strömungsabriss kann bei dynamischen Flugmanövern und meteorologischen Störungen auch bei anderen Geschwindigkeiten auftreten.

Passives Durchfliegen eines Windgradienten

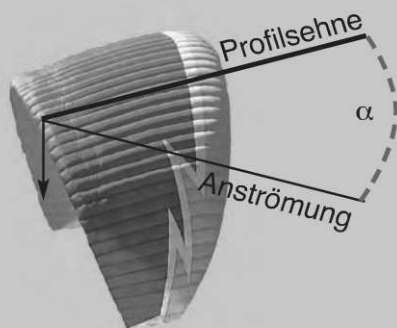
Flug im starken Gegenwind

Bei V_E von 40 km/h und V_S von 1,2 m/s ist die Profelsehne fast horizontal und der Gleitwinkel gegenüber der Luft klein (flach). Der Anstellwinkel α ist unter 10° und damit im normalen Bereich.



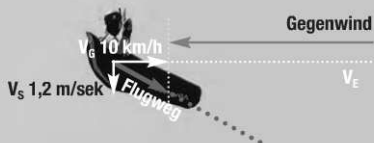
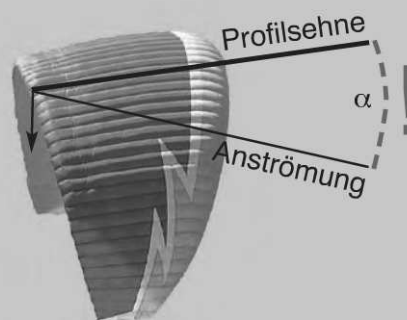
Scherungszone mit Durchsacken

Bei einem durchsackenden Gleitschirm wird der Flugweg steiler und die Anströmung kommt deutlich mehr von unten; der Anstellwinkel erhöht sich. Durch den erhöhten Widerstand nickt die Kappe nach hinten – der Einstellwinkel erhöht sich und der Anstellwinkel wird nochmal größer. Dadurch wird das Durchsacken gedämpft, aber die Eigengeschwindigkeit V_E verringert sich. Der Anstellwinkel α ist kurz in einem gefährlich hohen Bereich. Der Pilot darf auf keinen Fall bremsen. Er müsste durch Lösen der Bremsen den Schirm vornicken lassen.



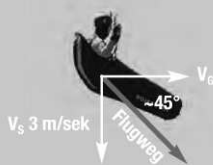
Weiterflug im schwächeren Gegenwind

Der Pilot hat den Gleitschirm nicht genügend weit vornicken lassen. Die geringe Eigengeschwindigkeit V_E , das erhöhte Sinken V_S und die hinten hängende Kappe ergeben einen gefährlich hohen resultierenden Anstellwinkel α . Die Kappe befindet sich nahe am Strömungsabriss. Jede weitere Turbulenz oder auch nur leichtes Bremsen können zum Absturz führen.

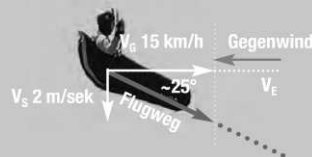


$$V_E - \text{Gegenwind} = V_G$$

Fliegen mit 40 km/h Eigengeschwindigkeit V_E bei konstantem Gegenwind von 30 km/h ergibt eine Geschwindigkeit über Grund V_G von 10 km/h. Bei einem Eigensinken V_S von 1,2 m/sek. ergibt sich ein Flugweg mit einem Gleitwinkel von ca. 23° .



Wenn sich in der Scherungszone das Sinken von 1,2 m/sek. durch das Durchsacken auf vorübergehende angenommene 3 m/sek. erhöht und die Eigengeschwindigkeit abnimmt, ergibt sich ein kurzfristiger Flugweg von über 45° .



Fliegen mit 25 km/h Eigengeschwindigkeit bei 10 km/h Gegenwind ergibt eine Geschwindigkeit über Grund von 15 km/h. Bei einem Eigensinken V_S von fast ca. 2 m/sek. ergibt sich ein Flugweg mit einem Winkel von ca. 25° gegenüber dem Horizont. Diese Bewegungsrichtung entspricht dem Flugweg vor dem Eintreten des Windgradienten. Geschwindigkeit über Grund und Flugweg entsprechen der Größenordnung vor der Störung und damit wiegt sich der Pilot in trügerischer Sicherheit.

Foto: Burkhard Martens

Schilderungen von Augenzeugen und Unfallbeteiligten sprechen von normalem Steuerdruck, moderatem Steuerleinenzug und relativ gleichmäßigem Flugweg. Der relativ unauffällige Flugweg hat seine Ursache in dem nachlassenden Gegenwind, der das stark erhöhte Sinken optisch verfälscht.

Flugtechnische Handlungsanweisung bei einem Windgradienten

Erkennen eines signifikanten Windgradienten: Bei Annäherung an einen Landeplatz muss bei stärkerem Wind ausreichend hoch genau gegen den Wind zum Landeplatz geflogen werden. Der Pilot vergleicht seine Eigengeschwindigkeit mittels Geschwindigkeitsmesser oder beim Gleitschirm alternativ mittels Steuerleinenstellung und Gerätekenntnis mit der Groundspeed (Geschwindigkeit über Grund) laut GPS. Die Differenz ist die Windgeschwindigkeit (Gegenwindkomponente) in der Höhe. Ein genauer Blick auf den Windsack (am besten genormter Windsack) ergibt Rückschlüsse auf die Windgeschwindigkeit am Boden. Die Differenz der beiden Werte ist der zu erwartende Verlust an Geschwindigkeit irgendwo im Endanflug.

Beispiel: Eigengeschwindigkeit = 40 km/h. GPS-Speed = 10 km/h. Ergibt einen Wind von 30 km/h im Flug. Sieht der Pilot den Windsack am von Gebäuden und Bäumen umrahmten Landeplatz schlapp herunterhängen, ist mit einem heftigen Gradienten von 30 km/h zu rechnen. Der Pilot weiß nicht, wo die Scherungszone, also die Höhe des einsetzenden Gradienten ist, aber die Höhe der Hindernisse um den Landeplatz ergeben einen Anhaltspunkt. In diesem Fall ist ein Anflug auf diesen Landeplatz, wenn möglich, zu vermeiden.

Präventive Maßnahmen bei einem nicht zu vermeidenden Anflug mit starkem Windgradienten: um den ermittelten Wert des Windgradienten wird die Anfluggeschwindigkeit erhöht, um bei eintretendem Gradienten die Überfahrt aufgeben zu können und den Anflug mit der normalen Anfluggeschwindigkeit fortzusetzen.

Drachen Bei den Drachen ist in der Regel die Geschwindigkeit des besten Gleitens (ca. 40 km/h) die Basisgeschwindigkeit des Anfluges. Bei einem Gradienten von 20 km/h wird der Endanflug mit 60 km/h begonnen und bei einsetzendem Gradienten die Überfahrt aufgegeben, um den Flugweg zu stabilisieren und ein Durchsacken zu vermeiden.

Gleitschirm Bei den Gleitschirmen ist eine ausreichende Aufnahme der ermittelten notwendigen Überfahrt in der Regel nicht möglich. Die meisten Piloten lehnen den Einsatz des Beschleunigers im Endanflug ab. Deshalb ist bei nicht zu vermeidenden Gradienten die Devise: möglichst schnell, aber den Gleitschirm aktiv fliegend kontrollieren, um die Gefahr eines Einklappers zu minimieren. Da dies eine kaum lösbare Aufgabe darstellt, ist die Häufigkeit von Unfällen verursacht durch Windgradienten bei den Gleitschirmen deutlich höher als bei Drachen oder Segelflugzeugen. Die einzige wenn auch schwierige Lösung ist die Vermeidung von starkem Geschwindigkeitsverlust durch Änderung der Anflugrichtung. Das exakte Anfliegen gegen den Wind muss durch in Kaufnahme von Seitenwind oder gar Rückenwindkomponente im hohen Teil des Endanfluges ersetzt werden, um einen abrupten Geschwindigkeitsverlust und Durchsacken knapp über dem Boden zu vermeiden.

Reagieren auf einen nicht zu vermeidenden Windgradienten

Drachen Bei den Drachen und Starrflügeln sorgt die stabile Druckpunktwanderung dafür, dass das Fluggerät bei Durchsacken = Anstellwinkelerhöhung automatisch die Nase senkt, um die verlorene Fahrt wieder aufzunehmen. Der Pilot muss vorher ausreichend Fahrtreserve aufbauen, um mehr Abstand zum kritisch hohen Anstellwinkel zu haben und diese Reaktion des Gerätes dämpfen zu können. Damit kann er die Abtauchbewegung und die rasante Bodenannäherung kontrollieren. Er muss den Steuerbügel bei beginnendem Geschwindigkeitsverlust so nach vorne führen, dass der Auftriebsverlust durch Anstellwinkelerhöhung ausgeglichen wird und das Durchsacken minimiert wird. Nach Durchfliegen des Gradienten sollte Bügelstellung und Fluggeschwindigkeit wieder circa den Werten des besten Gleitens entsprechen. Der Pilot hat die vorher aufgebaute Überfahrt geopfert und dadurch den Flugweg stabilisiert. Auf keinen Fall darf der Pilot in Bodennähe das Abtauchen durch Ziehen verstärken. Ist der Drache beim Einfliegen in einen Windgradienten zu langsam, kann das Durchsacken nicht entscheidend verhindert werden.

Gleitschirm Bei den Gleitschirmen ist die Gerätereaktion durch die labile bis indifferente Druckpunktwanderung eine andere. Der Gleitschirm erhöht beim Durchsacken ebenfalls seinen Anstellwinkel, aber damit hauptsächlich den Widerstand. Dadurch bremst die Kappe relativ zum Piloten ab und pendelt nach hinten, was zu einer zusätzlichen Anstellwinkelerhöhung führt. Diese Nickbewegung nach hinten darf keinesfalls durch Bremsen verstärkt werden. Durch Lösen der Steuerleinen muss die Kappe zum kontrollierten Nicken nach vorne gebracht werden, um den Anstellwinkel wieder in einen sicheren Bereich zu bringen und eine ausreichende Geschwindigkeit aufzunehmen. Das perfekte Beherrschen der Übung Nicken und Stabilisieren erhöht die Sicherheit erheblich. Im Extremfall eines Durchsackens in Bodennähe, wenn die Höhe für ein kontrolliertes Anfahren des Gleitschirms nicht mehr ausreicht, kann die bessere Lösung eine Sackfluglandung mit Landefall sein. Dazu muss der Pilot schon aufgerichtet und vorbereitet sein. Auch die optimale kompakte Sitzhaltung und die Führung der Steuergriffe am Tragegurt entlang mit locker anliegenden Oberarmen erhöhen die Wahrscheinlichkeit des frühen Erkennens und feinfühligem Korrigierens deutlich. Die Besonderheit bei Windgradienten und Durchsacken ist, dass der Steuerdruck durch Verlust von Strömungsgeschwindigkeit sinkt. Der gefährlich hohe Anstellwinkel ist damit über den Steuerdruck kaum zu spüren. Als Hilfsmittel für das Erkennen gefährlich hoher Anstellwinkel hat sich ein Windspion am Leinenschloss bewährt. Fühlt sich der Gleitschirm träge an wie ein Blatt im Wind, es gibt kaum Windgeräusche, er zieht / fliegt irgendwie nicht mehr; all das sind Anzeichen für Geschwindigkeitsverlust durch einen Windgradienten. ▽