

Dünne Luft für Höhen

Aerodynamik in großen Flughöhen

VON PETER BRUGGMÜLLER

Bei einem Hochgebirgsflug startet der Pilot zwangsläufig in dünnerer Luft. Die Auswirkungen auf das Schirmverhalten sind erstaunlich vielfältig. Der Aerodynamiker Peter Brugmüller begleitet einen fiktiven Hochgebirgsnovizen auf seinem Himalaya-Höhenflug und erklärt, was „da oben“ anders ist.

Traumstart

Tom hat besonderes Glück. Es ist vollkommen windstill auf 5.500 m. Andächtig breitet er seinen Schirm aus und sortiert sorgfältig die Leinen, keine darf irgendwo hängenbleiben. Sein Startplatz ist eine abfallende Steinplatte. Diese hat gerade dieselbe Neigung wie die Startwiese an seinem Hausberg. In Gedanken markiert Tom den „point of no return“, die Stelle also, an der er in der Luft sein muß, und wo er den Start nicht mehr abbrechen kann. Fünfpunkte-Check. Drei, zwei, eins und los. Tom läuft. Die Schirmkappe steigt, bietet aber überraschend wenig Widerstand. Auch der Zug auf den Trageturgen ist ziemlich schwach. Irgendwas faul? Der Kontrollblick sagt: Die Kappe steht, alles okay. Laufen! Laufen! Tom läuft. Schon ist er am „point of no return“, aber der Schirm zieht nicht richtig. Tom spürt, er könnte gar nicht mehr abbrechen und beschleunigt, was die Füße hergeben. Fast verzweifelt springt er über die Felskante, der Schirm taucht ein wenig durch. Die



Schweißtreibender Startlauf: vor dem Überflug der faszinierenden Hochgebirgswelt ist wegen der dünnen Luft oft Sprinten angesagt

Schrecksekunde ist vorbei, Tom gleitet in der absoluten Stille der Bergwelt und fragt sich, wieso der Start bei Traumbedingungen fast zum Alptraum geriet. War das gerade eine Böe von hinten?

Falsch gedacht. In 5.500 m hat Tom genau die Hälfte der Atmosphäre unter sich. Die Luftdichte ist um etwa 43 % kleiner als auf Meeresebene. Für den Schirm, der einmal in der Luft ist, kann das zunächst zweitrangig sein, denn er braucht im

Trimmflug in jeder Höhe gleichen Staudruck. Sinkt die Luftdichte, kann dieser Staudruck durch erhöhte Fluggeschwindigkeit ausgeglichen werden. Daher steigen Sink- und Horizontalgeschwindigkeit mit der Flughöhe ganz automatisch.

Aber entsprechend erhöht sich auch die Startgeschwindigkeit. Beträgt diese bei Normalatmosphäre 7 m/s, so muß Tom hier über 9 m/s laufen. Das ist beachtlich. Denn selbst Spitzenathleten bringen es beim 100 m-

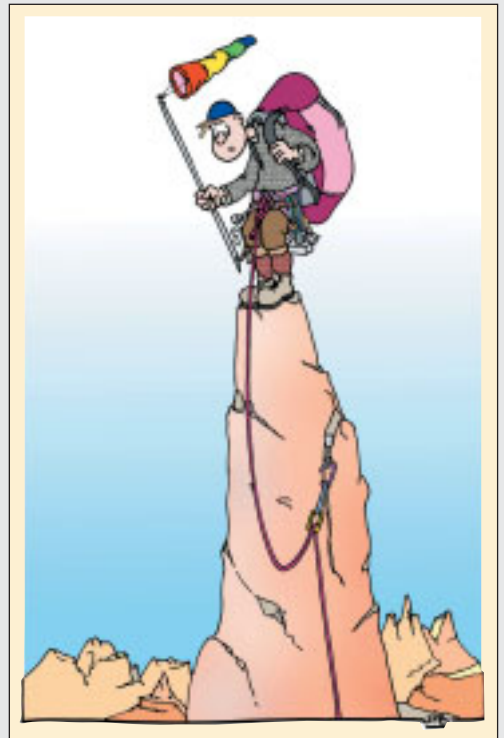
enflüge

Lauf gerade mal auf 10 m/s - und das ohne Gurtzeug. Mit der Startgeschwindigkeit steigt auch der Startweg, genau genommen sogar mit dem Quadrat der Startgeschwindigkeit. Das bedeutet, Tom muß in 5.500 m einen etwa 75 % längeren Startlauf absolvieren, als er es gewohnt ist.

Akroschirm statt Intermediate

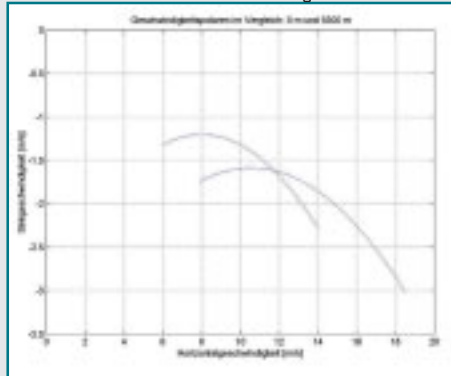
Endlich in der Luft. Kann es denn eine schönere Belohnung für die Strapazen des Aufstieges geben, als einen ruhigen Flug zwischen den

bedrohlich zackigen Bergen mit ihren kühlen Gletschern? Wohl kaum, sagt eine wahre Bergfliegerseele. Tausend anstrengende Vorbereitungsstunden sind vergessen. Tom genießt jede Sekunde, er bremst seinen Schirm auf minimales Sinken an. Ein Blick auf das Variometer zeigt ein Sinken von 1,6 m/s statt der gewohnten 1,2 m/s. Tom kann es nicht lassen und setzt in der respektinflößenden Hochgebirgskulisse zu einem kleinen Wingover an. Tom drückt die Kappe in die Kurve und erschrickt: Er steigt außergewöhnlich hoch über den Schirm, der Wing-Over wird wirklich beeindruckend. Tom zweifelt an seinen Wahrnehmungen. Leidet er schon unter Sinnestrübungen oder Höhenkrankheit?



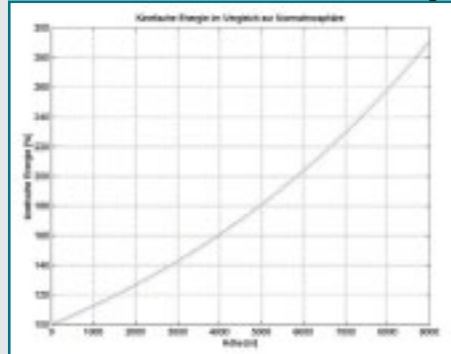
Geräumige Startplätze: im Hochgebirge oft notwendig, aber auch Mangelware

Grafik 1 Geschwindigkeit und Gleitzahl



Geschwindigkeitspolaren im Vergleich - In großer Höhe nehmen alle Geschwindigkeiten aufgrund der sinkenden Luftdichte zu, die Polare verschiebt sich. Die Gleitzahl bleibt aber nahezu unverändert.

Grafik 2 Kinetische Energie



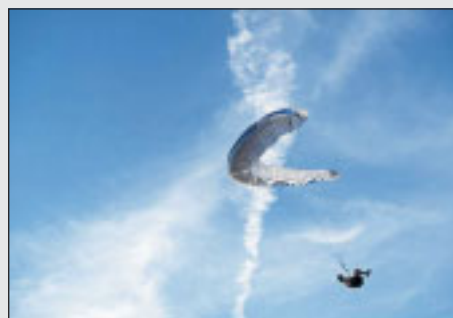
Beispiel Trimmflug: In 6.000 m hat sich die kinetische Energie des Gleitschirmfliegers gegenüber den Verhältnissen in der Normatmosphäre mehr als verdoppelt. Die höhere Bewegungsenergie beeinflusst vor allem die Dynamik des Schirms und das Flareverhalten.

Wieder falsch gedacht. Tom hat völlig richtig festgestellt, daß sein Schirm viel dynamischer geworden ist. Die Polare bestätigt das (siehe Grafik 1). Alle Geschwindigkeiten sind größer geworden, und damit auch die Bewegungsenergie - „Schwung“ würde man umgangssprachlich sagen (siehe Grafik 2). Könnte Tom unter Normbedingungen seine gesamte Bewegungsenergie im Trimmflug durch Anbremsen und Davonsteigen wieder in Höhe umsetzen, würde er etwa 5 m gewinnen, hier in 5.500 m sind es fast 9 m.

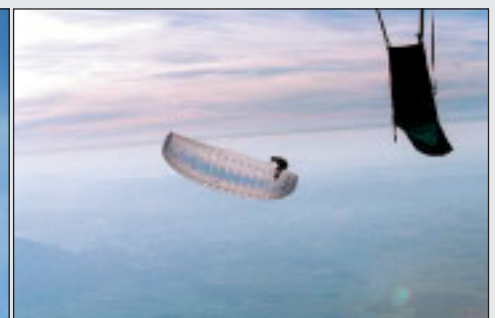
vom Ballon auch festgestellt. Das Fliegen ist jetzt wesentlich dynamischer und entsprechend anspruchsvoller: Selbst bei einer gewöhnlichen Kurve zum Hang muß Tom bedenken, daß der Kurvenradius erheblich größer ist, als er es gewohnt ist.

Grat-Landung

Tom findet keine Thermik, die ihm einen verlängerten Fluggenuß schenken könnte. Aber er will diesen Tag



Luftige Akro: Nach seinem Abprung von einem Helikopter in 5.300 m Höhe stellte Mike Kung fest, daß alle Akromanöver deutlich dynamischer ausfielen



Die Kappe bekommt durch die größere kinetische Energie der Piloten- und der Schirmmasse eine neue Dynamik. Es ist ungefähr so, als wenn Tom statt an seinem wendigen 29 m² großen Schirm unter einem 17 m²-Akrogerät hänge. Mike Kung hat das bei seinen Höhen-Absprungen

auskosten. Beim Aufstieg hatte er sich auf etwa 5.000 m schon einen Ersatzstartplatz ausgesucht und vorsorglich einen kleinen Windsack aufgestellt. Dieser Startplatz ist eine leicht geneigte, etwa 15 m breite, abfallende Steinplatte auf einem Grat. Kurzerhand beschließt Tom,



Faktor Höhe: Gerade radikale Manöver fallen je nach Flughöhe völlig unterschiedlich aus: In Meeresnähe sind sie „zahmer“ als in Gipfelhöhen.

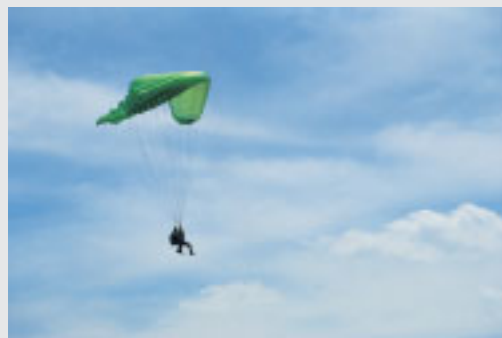
auf dieser Platte zu landen, am liebsten genau in der Mitte knapp unterhalb des Grates. Er weiß, diese Gratlandung ist gewissermaßen eine Gratwanderung. Daß der Windsack regungslos herunterhängt, scheint die Sache zumindest zu erleichtern. Tom denkt sich, die dünne Luft wird mich wohl weniger tragen, fliegt etwas höher an und bremst früher. Doch die nächste Überraschung erwartet unseren Piloten: Es scheint ihm, also würde die Steinplatte unter

seinen Füßen weggezogen. Er hat keine Chance, noch auf der Platte aufzusetzen, denn ...

... er hat schon wieder falsch gedacht. Die Idee, etwas früher als gewöhnlich anzubremsen, war ganz gut. Aber wegen der höheren Fluggeschwindigkeiten hat die Energiefalle wieder zugeschlagen. Unter Normbedingungen kann man einen Intermediate von Trimmspeed auf Minimalgeschwindigkeit knapp 20 m weit im horizontalen Flug ausflaren. In



Tauschgeschäft: Ein ordentlicher Wind kann beim Start in großer Höhe sehr hilfreich sein und die Nachteile der dünneren Luft teilweise kompensieren.



Für Doppelsitzerpiloten ist die richtige Einschätzung der veränderten Aerodynamik besonders wichtig.

5.000 m beträgt die Flarestrecke fast 35 m. Es muß also tiefer angefliegen und sehr genau angebremst werden. Außerdem wird es fast unumgänglich sein, noch ein paar Schritte zu laufen, weil die Aufsetzgeschwindigkeit zwangsläufig höher ist.

Höhe und Motorleistung

Dünne Höhenluft macht nicht nur dem menschlichen Organismus zu schaffen, sondern auch dem Antrieb eines Motorschirms - auf mehrfache Weise:

- Pro Kolbenhub wird weniger Luft in den Zylinder gesaugt. Daher kann nicht soviel Treibstoff verbrannt werden, somit wird weniger Energie bereitgestellt. Die Motorleistung nimmt ab, während die Verluste wie beispielsweise die Lagerreibung gleich bleiben.
- Während die Motorleistung mit der Höhe sinkt, erhöht sich gleichzeitig der Leistungsbedarf: zwei gegensätzliche Phänomene zu Ungunsten des Piloten. Um die Zunahme der erforderlichen Leistung zu verstehen, ist die Betrachtung des Horizontalfluges am eindrucksvollsten. Weil alle Geschwindigkeiten mit der Höhe zunehmen, muß für eine waagrechte Flugbahn auch eine größere Sinkgeschwindigkeit kompensiert werden.
- Die Luftmasse, die durch den Propeller strömen kann, nimmt mit der Luftdichte ab. Selbst die zunehmenden

Fluggeschwindigkeiten können diesen Effekt nicht aufheben. Soll derselbe Schub wie in geringer Höhe erzeugt werden, muß der Propeller diese Luft stärker beschleunigen, was wiederum zusätzlich Leistung kostet.

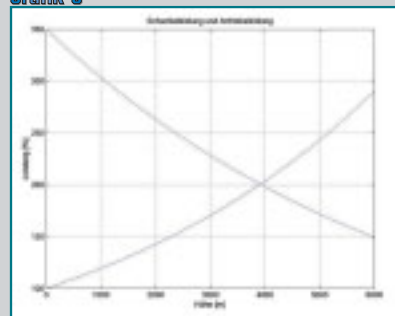
- Auch die Luftmasse zur Kühlung des Motors nimmt ab. Die Motortemperatur steigt mit der Höhe an. Ihr sollte daher größere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

All die genannten Effekte überlagern sich und schlagen mit der Höhe rasch zu. Daher ist es leicht möglich, daß ein bestimmter Motortyp die 3.000 m spielend übersteigt, die 4.000 m-Marke aber nie erreichen wird (siehe Grafik). Dazu kommen noch weitere Problemchen. Beispielsweise kann es sein, daß abgestellte Kolbenmotoren beim Überschreiten einer gewissen Höhenstufe nicht mehr wiedergestartet werden können, weil die Treibstoff-Luftmischung nicht mehr im richtigen Verhältnis geboten wird. Der österreichische Hersteller Uli Sokopf bot übrigens schon auf seinem Modell „Falke“ eine höhenabhängige Ge-

mischregelung an: mit zunehmender Höhe wird das Gemisch abgemagert.

Peter Bruggmüller

Grafik 3



Zwei Kurven verraten, warum die „Dienstgipfelhöhe“ von motorisierten Gleitschirmfliegern stark begrenzt ist. Die aufsteigende Kurve zeigt, wie die für einen horizontalen Schwebeflug notwendige Leistung mit der Höhe stark ansteigt. In 6.000 m braucht man fast die dreifache Motorleistung gegenüber der Normatmosphäre. Die abfallende Kurve zeigt die maximale Antriebsleistung mit der Höhe. Auf Meeresniveau kann der Antrieb um 250 % mehr leisten, als zum Schweben nötig ist, was einer Steigrate von 3 m/s entspricht. Dort, wo sich die Kurven im Diagramm schneiden, kann man die maximal erreichbare Höhe ablesen, in diesem Fall rund 3.900 m.

TAS und IAS

Auch auf die Meßinstrumente hat die größere Höhe einen wichtigen Einfluß. Ein Staudrucksensor, wie ihn oft Flugzeuge oder auch Drachpiloten benutzen, zeigt mit zunehmender Höhe immer „falschere“ Wert an: Da diese Geräte die Geschwindigkeit über den Staudruck ermitteln, zeigen sie die erhöhte Geschwindigkeit in großen Höhen nicht an. Schließlich ist der Staudruck im Trimmflug gleich geblieben, obwohl sich der Schirm deutlich schneller bewegt. Die Anzeige der „Indicated Airspeed“ oder „IAS“ hat aber trotz ihres „Fehlers“ Sinn: Der Stall beispielsweise passiert beim selben Anzeigewert wie tiefer unten in Tal, denn für den Auftrieb des Flügels ist der Staudruck entscheidend.

Dagegen zeigen Flügelradensoren, wie sie Gleitschirmflieger benutzen, in größeren Höhen immer höhere Geschwindigkeitswerte an. Denn ein fast reibungsfrei rotierendes Flügelrad mißt nicht den Staudruck, sondern wirklich die wahre Geschwindigkeit in der Luft. Diese Werte kommen der „TAS“ oder „True Air Speed“ sehr nahe. Für die Abschätzung der Stallgeschwindigkeit beispielsweise sind sie aber weniger gut zu gebrauchen. Moderne Geräte wie das Compeo von Bräuniger können aber auf Wunsch die TAS in IAS umrechnen oder umgekehrt.

Sascha Burkhardt

Tom's Fazit

Tom schwebt nach dieser mißglückten Zwischenlandung bis ins Tal und setzt dort unter gewohnten Bedingungen auf - und schwört sich, vor der nächsten Hochgebirgstour sein Wissen über die Atmosphärenschichtung etwas aufzufrischen.

Allerdings hat Tom auch etwas Pech gehabt: Die beschriebenen Phänomene sind ihm fast unter Laborbedingungen begegnet. Häufig kommen in großen Höhen etwas kräftigere Winde vor und heben einen Teil der Nachteile wieder auf, in dem sie den Piloten beim Start beispielsweise wirkungsvoll unterstützen. In vielen Fällen werden die naturgemäß stärkeren Winde die Effekte der höheren Flugeschwindigkeiten übertreffen. Was aber immer bleibt, ist die erheblich höhere Dynamik und das generell anspruchsvollere Fliegen. Ganz abgesehen davon lauern im Hochgebirge tausend andere Gefahren, von der Höhenkrankheit bis zum Steinschlag. Eine sorgfältige Vorbereitung ist für echte Höhenflüge in jeder Hinsicht unumgänglich. ☞

Praktische Tips für Höhenflüge

Mit zunehmender Höhe verschlechtern sich fast alle Faktoren für den Gleitschirm-Start und den Flug. Der Pilot muß nicht nur mit seinem persönlichen Leistungsabfall rechnen, sondern zudem mit schwierigeren Bedingungen wie verlängertem Startlauf. Dazu kommt noch die komplexe Aerologie des Hochgebirges: Auf Höhendifferenzen von mehreren Tausend Metern durchfliegt der Pilot oft vollkommen gegensätzliche Luftströmungen. An der Grenze zwischen zwei Luftschichten sind entsprechende Scherturbulenzen möglich. Zudem ist die Luftzirkulation im Hochgebirge sehr komplex: Gipfel, Grate und Hochtäler lenken sowohl den meteorologischen Wind als auch die Brisen unerwartet um. Über Gletschern kommt es außerdem oft zu erstaunlich kräftigen Abwinden. Die kalte Luft stürzt sich wie ein Wasserfall ins Tal. Das kann sogar kleine Motorflugzeuge in Bedrängnis bringen! Tiefflüge über Gletschern sind für Gleitschirme also kaum empfehlenswert. Im übrigen können auch großflächig abgeschattete Berghänge erstaunliche Abwinde erzeugen. Grundsätzlich gibt es zur praktischen Bewältigung der veränderten Situationen im Hochgebirge kein Patentrezept. Mehr noch als im „normalen Gebirge“ ist eine ständige Beobachtung und Neueinschätzung der Wetter- und Flugbedingungen notwendig. Der Blick auf die Groundspeed-Anzeige eines GPS kann dabei nur teilweise helfen. Wichtig ist auch die ständige Überprüfung auf Leefallen. Ist der vermeintliche Aufwind am Startplatz nicht der aufsteigende Ast eines Leerrotors? Weitere Punkte: Vereisungsgefahr der Karabiner nicht unterschätzen - der Schnapper schließt eventuell nicht richtig. Startwege sehr großzügig einschätzen, höhere Sinkrate bei der Landung nicht vergessen. Bei der Flugplanung an eine eventuelle Notlandung denken: Unter Umständen findet sich der Pilot in hochalpinem Gelände wieder, das eine entsprechende Ausrüstung (Steigeisen, Pickel, Sicherungsseile) und Bergsteigererfahrung erfordert. Entweder andere Flugroute wählen oder sich entsprechend ausrüsten! (SB)