

Vigilanz für "see and avoid" und Fluggenuss im Alpenflug erfordern die **Nulltoleranz für Hypoxie** bereits im Höhenband von 2'000 bis 4'500 m !

Der revidierte, etwas provokative, doch instruktive Aufsatz für Aeronauten, aus der Tastatur von

Dr. med. Heini Schaffner, Alpensegelflieger AFG, GVVN, APSV und alt Anästhesiologe FMH



Der Autor (*1943) ist über den Modellflug und die fliegerische Vorschulung (FVS) Segelflieger geworden und hat sich bei der Akademischen Fluggruppe Zürich (AFG) die alpen- und streckenfliegerische Erfahrung geholt, die mittlerweile mit 2'700 Std. Segelflug und 150 Std. Motorflug zu Flugbuch steht. Im beschaulichen Streckenflug mit der ASH-26E, HB-2276, SSS befliegt er als Segelflugtourist meist die französischen, austriischen, italienischen, slovenischen und heimischen Alpen und blickt zurück auf tolle fliegerische Erlebnisse in Canada, Neuseeland und Patagonien.

Nach dem Medizinstudium hat er 1971 die mit dem Pilotenberuf vergleichbare Tätigkeit eines Anästhesiologen gewählt und an 80 Spitälern/Kliniken im In- und Ausland ausgeübt. Vor dem beruflichen Ruhestand arbeitete er während 12 Jahren noch freischaffend "auf Stör", um so wenigstens während der Segelflugsaison das branchenübliche Kettenhund-Dasein mit der Freiheit des Adlers der Lüfte tauschen zu können. Obwohl Teilnehmer an fliegermedizinischen Kongressen, hat er selbst nie als Fliegerarzt amtiert und kann auch den periodischen, fliegermedizinischen Zwangskonsultationen nichts abgewinnen. Oftmals konnte man den damals abgewiesenen Linienpilotenanwärter in Ambulanzjets oder Linienflugzeugen, als ärztlichen Betreuer bei med. Repatriierungen antreffen. Sein Interesse für Höhenmedizin, Stressforschung und "human aspects of flight safety" wurde durch vergleichbare Anforderungen und Ziele in Beruf und Hobby geweckt.

1. Einleitung

Die nachfolgenden flugmedizinischen Ausführungen basieren auf dem Studium der Fachliteratur und sind durch eigene Erfahrungen und Fallsammlungen ausgelöst und auch bestätigt worden. Sie drehen sich um den **leichten O₂-mangel (Hypoxie) während mehrerer Flugstunden** und seine Auswirkungen auf das Zentralnervensystem. Nebenbei werden die behördliche Optik zu den medizinischen Unfallursachen in der Aviatik und die Gewohnheiten der Alpenflieger etwas hinterfragt. Dabei geht es v.a. ums Höhenband zwischen 5'000 ft (1'554 m) und 12'500 ft (3'810 m), also vom objektiven Beginn der Einschränkungen des Gesichtsfeldes bis zur *reglementarisch* noch erlaubten Höhe vor imperativem O₂-Zusatz. Es sollen damit jene Aeronauten angesprochen werden, welche auf

ihren Alpen-Flügen oder -Fahrten regelmässig von Stirnkopfweg geplagt werden oder gähnend gegen das Einschlafen im Fluge ankämpfen; ebenfalls all jene, welche erst einmal die reglementarischen Höhenlimiten erfliegen, bevor sie Zusatz-O₂ einsetzen würden, sich jedoch wundern, warum Alpenfliegen eigentlich so schlapp macht. Die Botschaft richtet sich auch an die Helikopter- und Alpenrundflug-Piloten, in deren Fluggerät sich noch keine O₂-Spender finden, so wie an die Delta- und Gleitschirmflieger, deren hypotherme "Fussgestelle" bei jeder Landung auf Bruchlast geprüft werden. Dieser Artikel wendet sich ferner an alle Aeronauten mit alters- und teerbedingten O₂-Transporthindernissen. Speziell im Visier des Autors ist aber die geächtete Randgruppe der Sauerstoffverweigerer aus Gewissensgründen ("*hypoxic hardliners*"), die sich als eine aeronautische Ausnahmekreation betrachten, die kein "O₂-Doping" benötigt.

2. Sauerstoffbedarf "von Amtes wegen"

Das Erfordernis eines O₂-Zusatzes im Fluge, aus damaliger Sicht wohlverstanden, regelte in der Schweiz jahrzehntelang, d.h. seit 1963, die von der amerikanischen FAA übernommene Vorschrift FAR 91.211, welche etwas vereinfacht fordert:

Oxygen must be used by a pilot
- anytime above 14'000 ft (4'267 m)
- and above 12'500 ft (3'810 m)
in excess of 30 minutes !

Diese Formulierung lässt Alter, (Ueber-)Gewicht und Tagesform des Piloten unerwähnt, so wie auch die verstrichene Flugzeit bis zum endlichen Erreichen der *unteren* Höhenlimite. Dafür liest sich an selbiger Stelle, dass erst ab 15'000 ft (4'572 m) **sämtliche Flugzeuginsassen** Zusatz-O₂ nehmen müssen.

Der **Neuentwurf EASA 1.775, App. 1** fordert für *kommerzielle* Piloten nun einen O₂-Zusatz für die *gesamte* Flugzeit über 10'000 ft (3'048 m), während sich die "*cabin crew*" noch max. 30' oberhalb 10'000 ft abmühen kann, bis

sie zusammen mit den sitzenden Passagieren ab 13'000 ft (3'962 m) ebenfalls in den Genuss von Zusatz-O₂ kommt. Die Soll-Kabinendruck-Höhe im Airliner ist seit jeher auf 8'000 ft (2'438 m) festgelegt, was aber nicht heisst, dass nicht auch Linienpiloten, v.a. auf ihren nächtelangen Langstreckenflügen, von Sauerstoffzusatz profitieren würden. Diese moderneren Vorschriften sind zwar etwas humaner ausgefallen, haben aber den Nachteil des noch geringen Bekanntheitsgrades und werden von den Flugunternehmen evtl. als weiteres bürokratisches Flughindernis aus der EASA-Schreibstube gewürdigt.

3. O₂-Versorgung aus Herstellersicht:

Wer O₂ frühzeitig einsetzen will, also intelligenter als es die Reglemente erfordern, wird spätestens beim Anblick der Rechnung eines der schweizerischen O₂-Monopolisten für die Neubefüllung seiner damals erworbenen Medizinal-O₂-Flasche (3.0 l) erleichen: 10-jährliche Druckprüfung CHF 84.--, Einbau Restdruckventil CHF 73.--, Füllung 600 l O₂ CHF 36.80, "handling" CHF 8.20, Eigenflaschenzuschlag CHF 25.--, also total CHF 227.--! Im nördlichen Nachbarland kostet eine vergleichbare neue Flasche, mit 200 bar gefüllt, nur grad € 96.-- !

Der natürliche Luftbestandteil O₂ gilt in seiner kostenträchtigen Vermarktungsform **Medizinal-Sauerstoff** in einigen Ländern als *Arzneimittel*, dessen Produzent nun neu für den Inhalt der "Arzneimittelverpackung" (aus Stahl, Alu oder GFK !) garantieren muss. In der Schweiz hat dies dazu geführt, dass kein O₂-Zylinder mehr befüllt wird, wenn nicht im Trichter des 3/4" DIN 477-Anschlusses bereits ein sog. **Restdruckventil** verbaut ist. Zudem wird der O₂-willige Aeronaut durch die firmeneigene Wiederbefüllungsdauer von zwei Wochen strapaziert, was früher grad mal eine Kaffeepausenlänge dauerte! Zusammen mit dem abstrafenden Zuschlag bei Eigenflaschen (gegenüber ihren Mietflaschen) ist der Zugang zum Sauerstoff zum Spiessrutenlauf geworden. Kein Wunder, wenn da einer zum O₂-Geizknäpper wird. Einige Segelfluggruppen befüllen deshalb ihre sicher trockenen (d.h. nie ganz entleerten) Eigenflaschen selbst nach dem sogenannten **Kaskadenprinzip** und dies sogar mit dem deutlich billigeren **technischen Sauerstoff**, der übrigens aus derselben Produktion stammt, somit auch gleich rein und trocken daherzischt und Lungen, Herz und Gehirn des Aeronauten gleich willkommen ist...

Der Vollständigkeit halber wird noch die *Luxusvariante* **Fliegersauerstoff** erwähnt, bei der es sich um Medizinalsauerstoff mit einer Taupunktbestimmung jeder Charge handelt.

Typischerweise liegt dieser bei -69°C, einer Kälte, welche infolge globaler Erwärmung nicht einmal mehr die Höhenrekord-Piloten Fossett und Enevoldson antrafen (El Calafate/Arg., 30. Aug. 2006: -58°C auf 50'671 ft (15'447 m).

4. O₂-Bedarf aus flugmedizinischer Sicht:

Die grundlegenden Studien zu FAR 91.211 stammen noch aus der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg und wurden in **Unterdruck-Kammern (UK's)** an jungen, topfiten Militärfliegern durchgeführt. Daher darf deren Aussagekraft für die gegenwärtige segelfliegerische Praxis ruhig in Frage gestellt werden, weil ja Kälte, Lüftungs- und Funklärm, Sonneneinstrahlung, Aengste, Turbulenzen, Beschleunigungen, Flüssigkeitsmangel und Altersgebresten als Stressoren in den damaligen UK's nicht simuliert wurden. Nicht auszuschliessen ist ferner, dass die Atmosphäre in den kleinräumigen UK's effektiv etwas O₂-reicher war, als der abgelesenen Druckhöhe entsprach. Die ärztlichen Versuchsleiter, welche sicherheitshalber alle 100% O₂ über ihre Fliegermasken erhielten, jedoch nur 5% davon metabolisierten, haben höchstwahrscheinlich die UK-Höhenluft über ihre Ausatmung mit O₂ angereichert und damit die erhaltenen Resultate beschönigt. Dies passierte anlässlich einer Jahrzehnte zurückliegenden TV-Sendung aus der UK des Fliegerärztlichen Institutes und mit einem populären "Talkmaster" als Versuchskaninchen. Auf 7'600 m gebracht, machte er deutlich später schlapp als die helvetischen Militärpiloten...

Rückblickend auf eigene Mühen mit der **Vigilanz** (Daueraufmerksamkeit) im Alpenflug und im Ohr noch einige bedenkliche "**O₂-stories**" anderer Luftraumbenützer, erscheint dem Autor der bloss vorschriftskonforme Höhenflug wie ein behördlich verschriebenes Schlafmittel für die Aeronauten und deren Passagiere. Die heutigen Anforderungen an die Flugzeugführer wollen bekanntlich den Impakt mit anderen Luftraumbenützern und auch mit der Erdkruste und ihren Bewohnern vermeiden; demnach setzt dies die Flugtauglichkeit vom Start bis nach erfolgtem Ausrollen voraus. Leider geht aus Unfallberichten wiederholt hervor, dass dieses erstrebenswerte Ziel, auch unter Beachtung von FAR 91.211, nicht immer erreicht wurde. Wenn bei etwas Stress Erlerntes nicht mehr abrufbar ist, fliegerische Fähigkeiten versimpeln, rettende Ideen mangeln, etc. so hat dies eben mit der leichten **Hypoxie des Nervensystems** zu tun.

Zur Zeit der massgebenden UK-Versuche standen noch keine **Finger-Pulsoxymeter** mit

Sofortablesung zur Verfügung; die O₂-Sättigung des Hämoglobins (O₂-Transportanteil 98%!) musste indirekt über arterielle Blutgasanalysen errechnet werden. In der UK hätte sie sich etwa gemäss der folgenden Tabelle präsentiert:

stat. Druck mm Hg	Höhe ft	Höhe m	O ₂ - Sat. Kind	O ₂ -Sat. Raucher
760	0	0	100 %	95 %
523	10'000	3'048	93 %	88 %
465	13'000	3'962	88 %	83 %
412	16'000	4'876	80 %	75 %
349	20'000	6'096	75 %	70 %

75 % entspricht der Restsättigung des venösen Blutes vor Wiederaufladung in den Lungen mit O₂. Ein gesunder Erwachsener erreicht auf 500 m Höhe 96 %. Im Operationssaal, hätte der Anästhesist bereits Handlungsbedarf, würde beim Patienten die O₂-Sättigung unter 93 % (untere Limite der Norm) sinken.

Ein einwandfrei funktionierendes Nervensystem erfordert eine Sat. O₂ > 90%



Handgelenks-Pulsoxymeter CMS-50F mit interessanter Speicher und Alarmfunktion. Der Lederfingerling schützt den O₂-Sensor gegen Sonnenlicht-Einfall. **Achtung**, dieses ist noch kein "must have gadget" für Alpensegelflieger, da sein Farbbildschirm mit der Sonnenbrille weder im Sonnenlicht noch im Handschatten ablesbar ist und auch das "alarm silencing" eine unlesbare Menüfunktion ist!

Spirometer und Massenspektrometer (zur Atemvolumenmessung und Sofortanalyse der Gaszusammensetzung der Atemluft), wie auch der Elektrokardiograph (EKG) waren damals noch grossvolumige Geräte und die Telemetrie aus engen Cockpits erst Wunschdenken. Zudem liessen die engen UK's keine flugrelevanten visuellen und psychotechnischen Tests zu und für die damaligen, einfachen Flugsimulatoren (Linktrainer) war die Idee, den Einfluss der Flughöhe mit zu simulieren doch noch etwas zu futuristisch. Der Kontrast zum heutigen Segelflug könnte also grösser nicht sein!

Seit den "Sixties" hat sich auch die Gesamtzahl der freizeithlichen Luftraumbenützer vervielfacht und es sind neue Flugsparten (und damit ein erhöhtes Risiko von "mid-air" hinzugekommen. Heute trifft man manchmal entlang günstiger Thermikrouten (z.B. dem "parcours du combattant" in Südfrankreich) auf regen Gegenverkehr mit dynamischer Höhenstaffelung beim Delphinflug oder erlebt an Meisterschaften luftkampfähnliche Zustände vor Startlinieneröffnung und nochmals beim Ziellinienüberflug. Wird der Pilot durch einen "Gegner", überrascht, kann er die einst erlernten VFR-Ausweichregeln kaum je durchsetzen. Gesellt sich zur begleitenden Hypoxie noch ein "head on"-FLARM-Alarm, so ist seine Improvisationsgabe und sein Reaktionsvermögen manchmal wie gelähmt.

Auch das Durchschnittsalter der Piloten, welche über das ideale Fluggerät für längere Alpenflüge samt der dazu notwendigen Freizeit verfügen, hat sich seit dem Inkrafttreten von FAR 91.211 unverkennbar erhöht. Die werktagsaktive Kategorie dieser **Autonomen Alten Adler** ist aber noch ungenügend erforscht und betreut. Als 2008 einige fliegende Senioren unübersehbar die Unfallzahlen begründeten, hat die schweizerische Luftaufsicht (BAZL) volksberuhigend schnell reagiert und ab 1.3.2009 die vormalige Eigenverantwortung für die Flugtauglichkeit wieder mit zweijährlichen fliegerärztlichen Zwangskonsultationen für Segelflieger und Ballonfahrer 60+ ergänzt; mit der Ausrede, notabene, es handle sich um einen *politischen Entscheid*. Vielleicht steckte auch nur die Absicht dahinter, die meist in bar honorierten BAZL-Vertrauensärzte vermehrt für unpopuläre Entscheide ("Altersguillotine") heranzuziehen, die früher die Cheffluglehrer, Vereinsvorstände und eben die genannte Behörde alleine ausgesprochen haben. Dieser Verdacht ist deshalb nicht so abwegig, weil die katastrophalen Auswirkungen eines amtlichen Lizenzentzuges auf die Psyche des Freizeitpiloten oft mit denjenigen einer Zwangskastration verglichen werden.

Aus dem medizinischen Blickwinkel sind bei FAR 91.211 die Höhenlimiten vor O₂-Zusatz für die Aelteren und die Raucher unter den Aeronauten oder ihre evtl. herzkranken Passagiere wahrscheinlich näher beim Höhentod als bei der zur Flugsicherheit erforderlichen Wachsamkeit angesiedelt. Wer diese Behauptung für übertrieben hält, dem rät der Autor einmal eine Zugsankunft auf dem Jungfaujoch (11'333 ft = 3'454 m) zu beobachten. Asiatische Flachlandtouristen, die im Restaurant einen Fensterplatz zur Gletscheraussicht ergattern wollen, müssen



bereits nach geringer Wegstrecke *atemlos* auf den untersten Treppenstufen pausieren. Andere wiederum bekunden ernstere Mühen mit der ungewohnt kalten und dünnen Höhenluft! Ein 67-jähriger, gesundheitlich bislang kompensierter Gast des Autors aus Uebersee hat dort oben, trotz der Ermahnung es *gemütlich* zu nehmen, seinen ersten Herzanfall erlitten und ist Wochen später leider an seiner Bypass-Reoperation verstorben! Parallelen zum Grossvater, der zum Achzigsten einen Fluggutschein geschenkt erhalten hat und sich nun bei der ausstellenden Motorfluggruppe zum Matterhorn-Rundflug meldet, sind nicht abwegig. Im günstigsten Fall *verschläft* der "Aetti" den Flug zum Matterhorn (4'477 m) auf FL150, so wie es jeweiligen Kinder auf den Passagiersitzen tun. Es wird aber daran erinnert, dass die juristische Verantwortung für das Wohl der Passagiere während des Fluges immer beim durchführenden Rundflugpiloten, jedoch nie bei der reglementierenden Behörde liegt, ob er nun deren FAR 91.211 respektiert oder nicht.

Eigentlich ist diese damals unverändert übernommene und seither nicht mehr angepasste FAR 91.211 wie der *hypoxische Sündenfall* im Insel-Paradies, das vom Tsunami der anderen, pingeligen FAA/JAR/ EASA/ BAZL-Vorschriften bislang verschont blieb.

Wäre es bei dieser Sachlage nicht angezeigt, speziell für "see and avoid" zunächst einmal den **Wachzustand über die gesamte Flugdauer** anzustreben? Konkret heisst dies, die individuell **bestmögliche**, d.h. unbeeinträchtigte **Seh- und Urteilsfähigkeit**, gepaart mit der **unermüdbaren Aufmerksamkeit** (Vigilanz) für dauerndes "scanning", und auch die **schnellstmöglichen Reaktionszeiten** jedes einzelnen Luftraumbenützers? Selbst die modernen elektronischen Hilfen zur Kollisionsverhütung, wie TCAS, PCAS, (Power-) FLARM, TRIADIS-Sprechwarnung mit dem raffinierten BUTTERFLY-display, so wie eigenen air to air COM-Frequenzen, ja sogar die auffälligste Warnlackierung, erfordern nämlich im

Anschluss an die Lichtgeschwindigkeit noch ein **speditives Nervensystem**. Dies zur raschen Objekterfassung, zum Begreifen der Bedrohung und zur unverzüglichen Umsetzung in geeignete Ausweichmanöver. Beim Piloten, dem letzten und schwächsten Glied in der Reaktionskette, könnte also noch *beträchtlich optimiert* werden:
- Durch eigene Einsicht und spontane Initiative, notabene, nicht durch Warten auf einen amtlichen Schnellschuss, der u.U. das Ziel verfehlt!

5. "Hypoxic hardliners"



Symbolbild aus der UK: Cyanose, Hypoxiestress mit perlendem Kaltschweiss und Herzpochen, Stupor (Denk- und Handlungs-Ohnmacht mit noch offenen Augen) 5 min. nach dem Weglegen der O₂-Maske auf 25'000 ft (7'600 m).

Einige Kapitel der geforderten Eigenverantwortung für die jederzeitige eigene Flugtauglichkeit wurden in der Segelflugszene, so wie andernorts auch, nicht immer optimal wahrgenommen: Immer wieder finden sich unter den Freizeit-Aeronauten sog. "*hypoxic hardliners*" mit einer eigentümlichen Risikobereitschaft, ("*who flies highest before he dies, wins!*"), welche nicht nur FAR 91.211 missachten sondern Zusatz-O₂ als Weichmacher sehen. In Alpenfluglagern trifft man noch heutzutage auf Segelfluggerät ohne entspr. Sauerstoffanlage oder dann auf ältere, massive Regler (air/O₂-Mixer) aus alten Militärflugzeugen. Gegen letztere wäre eigentlich nichts einzuwenden, würden sie nur hie und da gewartet und wären sie nicht so verschwenderisch mit dem Sauerstoff. Um den O₂-Vorrat zu schonen greifen dann kostenbewusste Segelflieger nur noch *intermittierend* zur Fliegermaske, gewissermassen "*arousal as needed*", oder belassen diese bis zum ersten Einnicken gar im "*stand-by*"-Modus. War O₂ noch nie ein Thema und fehlen für den Höhenbrillianten nur noch wenige hundert Höhenmeter, so ist die schliesslich angewandte Höhenlimite dann oft was die Leewelle hergibt.... Es sieht es ja keiner! Aber vielleicht merken es die andern Flugkameraden

an den verworrenen, gezwungenen und verzögerten Antworten während seinen Funksprüchen.

6. Profitiert jeder Aeronaut eigentlich von einer hypoxischen Freizone ?

Die dünne Höhenluft, wie auch die gelegentlich dicke Luft in der Flugplatzkneipe oder an der Vereinsversammlung, weisen immer gleichviel O₂ auf, nämlich 20.8 %. Entsprechend dem abnehmenden stat. Druck sinkt der sog. O₂-Teildruck (Partialdruck) in der Einatemungsluft gleich ab dem Start und nicht erst ab einer arbiträren **Störschwelle** auf FL 150 (4'572 m). Der O₂-Teildruck ist ja auf 5'500 m bereits nur noch die Hälfte, auf 8'300 m noch ein Drittel des originalen Wertes von 159 mm Hg auf Meereshöhe. O₂ fließt aus dem Druckzylinder bis zu den Hirnzellen immer entlang eines O₂-Teildruckgefälles, so wie das Wasser von der Quelle zum Ozean. Die Störschwelle gilt als Dach einer gerne zitierten sog. **Zone der vollständigen Kompensation** (0 bis 4'500 m). Diese suggeriert den Piloten, dass sie bis auf diese Flughöhe dank einer Atmungs- und Kreislaufsteigerung von jeglichem O₂-Mangel gefeit seien. **Die Piloten glauben solches gerne!** In Tat und Wahrheit ist die **hypoxische Ventilationsantwort** nicht nur individuell verschieden gut ausgeprägt, sondern auch noch äusserst anfällig auf Blutdruckänderungen, so wie auf diverse gängige Medikamente und Noxen. Sie ist ferner von der Tagesform abhängig, also von Schlafmanko, Stresszuständen jeder Ursache, HNO-Infekten und Alkoholnachwirkungen, etc.. Nach einer Vollnarkose fehlt sie z.B. gänzlich, weshalb jeder Frischoperierte prophylaktisch nasalen Sauerstoff erhält und dies trotz seiner pulsoxymetrischen Überwachung.

Diese **hypoxische Ventilationsantwort** wird vom höhenmedizinisch Uninteressierten manchmal mit der echten **respiratorischen Höhenakklimatisation** gleichgesetzt oder verwechselt. Erstere ist aber eine rel. spät ausgelöste, nicht immer einsetzende **Mehratmung** *unterhalb* des nervenkritischen O₂-Teildruckes im Blut von 70 mm Hg (normal 100 mm Hg), was einer O₂-Sättigung von nur 90 % entspricht. Dagegen präsentiert sich die **respiratorische Höhenakklimatisation** als eine erworbene, ständige **Hyperventilation** mit *dreiwöchiger* Evolution, welche sich dann unter O₂ nicht gleich wieder normalisiert. Man akklimatisiert sich übrigens an die Höhe auf der man die *meiste* Zeit verbringt. Die *forcierte* Adaptation an die Flughöhe ("*acclimatization by flying high*") hat sich vom Kosten- und Lärmaspekt her nicht durchgesetzt und jede mühsam während Wochen erworbene

Akklimatisation geht im Flachland innerhalb derselben Zeitspanne leider wieder flöte.

4

- Nicht jeder Aeronaut ist automatisch auch höhentauglich, wenn er vom Fliegerarzt flugtauglich geschrieben wird !
- Kein Aeronaut aus dem Flachland ist bereits höhenakklimatisiert, nur weil er die Alpen befliegt !

In den Lungen (d.h. im einlitrigen Restvolumen nach maximaler Ausatmung) finden sich leider nur kurzlebige O₂-Reserven für ca. 2 min, vor allem wenn vorher dünne Höhenluft statt reiner Sauerstoff geatmet wurde. Jede akute Veränderung des inhalierten Gasgemisches (O₂-Panne, O₂-Pulsverlängerung beim EDS, O₂-Dusche) wirkt sich deshalb mit zweiminütiger Verspätung im Gehirn aus, obwohl die Lungen-Ohrzeit des Kreislaufs nur etwa 12 sec beträgt. Höhenluft verengt zudem die Lungengefäße. Dies führt zu einer akuten **Rechtsherzbelastung** mit heftigem Herzklopfen, welche die Alpinisten dann mit teuren und Kopfweh verursachenden Medikamenten, wie Adalat® oder Cialis®, wieder aufzuheben versuchen. Meist wird die Atmung und der Kreislauf bei Höhenluft angetrieben, was temporär den rel. schlechten Wirkungsgrad der Lungen geringgradig verbessert. Akklimatisierte Everest-Besteiger tauschen dort oben 60-80 l Luft/min aus, Piloten in unteren Flughöhen ca. 12-20 l/min. Jeder erstmalige Höhengaufenthalt verursacht zu Beginn eine dreitägige **hypoxische Atmungsdepression** mit spürbarer Leistungsminderung, bevor die Atmungssteigerung im Rahmen der Höhen-Akklimatisation einsetzt. Vorher sind das hypoxische Atmungszentrum und die oedematösen Atmungsmuskeln schlicht unfähig zur ständigen Mehratmung. Dieser Umstand erklärt, warum Neuankömmlinge im Alpenfluglager auf ihren ersten Flügen oft von Kopfweh, manchmal auch von Uebelkeit und Unlust geplagt sind und warum sich die erstrebte Bestform erst gegen das Ende der Segelflugferien einstellen will.

Somit hält die damals postulierte, "*hypoxische Freizone*", wie sie über Jahrzehnte den Piloten vereinfachend gepaukt wurde, den heutigen, anspruchsvolleren Kriterien nicht mehr stand. Es geht eben um mehr als das eigene glückliche Überleben im Alpenflug oder um das OLC-Punkteholen bei massiver Einschränkung des Fluggenusses. Neue Zielvorgabe zur Senkung der Unfallhäufigkeit ist *ausnahmslos* die **gegenseitige Aufmerksamkeit** und **Urteilsfähigkeit** im Fluge sicherzustellen, was logisch-

erweise für jeden einzelnen Luftraumbenutzer ein Thema sein muss !

8. Befällt die "Acute Mountain Sickness" (AMS) auch flugtaugliche Aeronauten ?

Wie unter jungen und topfiten Alpinisten, findet sich auch im Kollektiv der flugtüchtig befundenen Aeronauten ca. ein Drittel sog. **schlechte Akklimateteure**, die wegen *ungenügender* oder *gar ausbleibender hypoxischer Ventilationsantwort* wenig höhentauglich sind. Es sind diejenigen, die früh über Kopfweg im Fluge klagen, bereits in den unteren Höhenschichten zu gähnen beginnen und ihren Flug jeweiligen demotiviert und frühzeitig beenden.

Dazu ein Fall aus einem Alpensegelfluglager noch aus der Zeit vor dem EDS, welcher aufzeigt, dass auf die respiratorische Höhenkompensation kein Verlass ist: Ein Segelfluglehrer mit einer jahrzehntelangen Alpenflugpraxis wird nach der altersbedingten Aufgabe seiner fliegerischen Aktivität ein halbes Jahr später als Passagier wieder auf einen Alpensegelflug mitgenommen. Noch im ersten Thermikschlauch auf 2'500 m bittet er den verantwortlichen Piloten bald wieder zu landen, wegen **Uebelkeit, Kopfweg, allg. Unwohlsein**, jedoch *ohne* Atemnot. Seine Mehratmung ist diesmal ausgeblieben, da er Monate vorher eine Radiotherapie am Hals über sich ergehen lassen musste. Dabei wurde sein **Biosensor, für O₂**, ebenfalls **peripherer Chemorezeptor** genannt, zerstrahlt. Er bestand aus *10 mg O₂-sensiblen Nervenzellen* in der Verzweigung der Halsschlagader. Sein Atmungszentrum war nicht mehr O₂-gesteuert. Nachträglich diagnostiziert wurde er **akut bergkrank**.

Die Symptome der **Akuten Bergkrankheit (AMS)** sind erst 1991 an einer Konsensuskonferenz am "*International Hypoxia Symposium*" in Lake Louise/Canada definiert und im Lake Louise AMS-score gewichtet worden:

- **Stirnkopfweg** nach vorangegangenem Höhengewinn und wenigstens eines der folgenden Symptome:
- Appetitlosigkeit, **Uebelkeit, Erbrechen**
- **Müdigkeit oder Schlaptheit**
- **Schwindel, Benommenheit**
- **Schlafstörungen**

Diese etwas beschränkte Auswahl an möglichen **Störungen des Wohlbefindens** widerspiegelt die völlig verschiedenen Kriterien und Anforderungen in Alpinismus und Aviatik. Die **AMS** ist die Symptomatik der **hypoxischen**

Hirnschwellung, die unbehandelt zum lebensbedrohlichen Hirn- und Lungenoedem (Oedem = Wasseransammlung) führt. Bei der AMS ist zu beachten, dass deren Symptome auf die schliessliche O₂-Gabe nicht sogleich, sondern erst nach mehreren banger Stunden abklingen, während der Abstieg zu Fuss um wenige hundert Höhenmeter oder die Rekompensation im Ueberdrucksack ("*Certes bag*") bessere Wirkung zeigt. Die AMS-Symptome sind selten vor der sechsten Stunde manifest, vielleicht weil die reichlich ausgeschütteten **Endorphine**, auch körpereigenes Morphin oder Glückshormone genannt, bei den Alpinisten den effektiven Symptomenbeginn maskieren können.

Gemeinsame Ursache allen Uebels ist die ominöse **hypoxische Wassereinlagerung**. Poröse Zellmembranen sind wie eine lecke Schiffshaut; das eingedrungene Wasser muss ständig herausgepumpt werden. Die **Integrität** der Nervenzelle und deren **Reizfortleitung** erfordern bereits die *volle* Leistung einer sog. Natriumionen- (Na⁺) Pumpe. Da jedes Na⁺ von 6 H₂O Molekülen umgeben ist, sollten wir ja auch *salzlos* essen. Bei vermindertem O₂-Angebot wird weniger ATP (energiegeladenes Phosphat) als Treibstoff für diese Na⁺-Pumpe aufbereitet; die Nervenzelle "*ersäuft*" und deren Reizfortleitung wird äusserst träge. Ganz ohne O₂ sinkt die ATP-Produktion auf 5% ab, worauf Nerven und Muskeln auch noch "*milchsauer*" werden. Bereits der **geringe O₂-Mangel** führt über Stunden zur Wassereinlagerung. Diese wird übrigens um einiges schneller verursacht (2-6 Std.), als sie sich unter Idealbedingungen wieder resorbiert (24-48 Std.). Jedenfalls werden nach verspäteter, d.h. erst bei subjektiven Symptomen begonnener O₂-nahme, die bereits "*fluidisierten*" Nervenzellmembranen nicht gleich wieder entwässert; die aufgetretenen Beeinträchtigungen können somit den Piloten noch in der darauf folgenden Nacht plagen. Nicht einmal reiner Sauerstoff vermag die Normalisierung zu beschleunigen, weil die Oedeme unterdessen zum Diffusionshindernis für O₂ geworden sind. Mit **prophylaktischer Frühoxygenation** gäbe es keine übermässige "*Fluidisierung*". Wegen der längerdauernden Remission sollte der Segelflieger auch den folgenden, evtl. noch mühsamen Flugtag in seine OLC-Ambitionen einplanen. Ebenfalls ziemlich "*fluidisiert*" sind die Membranen bei abendlicher Müdigkeit, Schlafmanko, Stress, und Noxen (Alkohol, Cannabis, Anästhetika, Antipsychotika, etc.) oder bei Entzündungen aller Art (Verbrennungstoxine bei Sonnenbrand!); dies als Erklärung für das begleitende **visköse Nervensystem**.

Eigentlich wäre der Alpensegelflieger wegen seinem **Atmungskorsett** durch das straffe Gurtzeug und die expandierende Magenluftblase bei schnellem Höhengewinn, so wie der oft stundenlangen Flugdauer bis zum endlichen O₂-Einsatz ein idealer Kandidat für die **AMS**. Nachforschungen in der Alpenfliegerszene ergaben jedoch, dass klinische Vollbilder die Ausnahme sind. Im Gegensatz zu den Alpinisten verläuft die allf. **AMS** des Segelfliegers **meist subklinisch und selbstabklingend**. Bei ausbleibendem Fluggenuss beendet der betroffene Pilot nämlich seinen Alpenflug vorzeitig. Abends landet er oft auf einem Flachlandflugplatz, während der Alpinist in der Hütte übernachtet oder, falls seine AMS-Symptome sich verschlimmern, von dort ausgeflogen werden muss. Wer auf langen Alpenflügen wenig Harn produziert, und dies ist immer ein *ominöses* Zeichen, lagert wahrscheinlich, wie der akut Bergkranke, sein Körperwasser in die Gewebe ein.

In der Aviatik betreffen die Auswirkungen der ständigen **leichten Hypoxie** hauptsächlich den **Fluggenuss**, die **Sehfähigkeit**, die **Aufmerksamkeit**, so wie **Urteilsfähigkeit** und **Motivation**. Gemeinsamer Nenner ist die *behinderte Mikrozirkulation der Grosshirnrinde*: Bei der kompensatorischen Hyperventilation werden die *Hirngefässe* dummerweise *verengt*, die reine Hypoxie stellt diese maximal weit --> 3% Hirnschwellung, welche diese dann *"erdrosselt"*. Ein reflektorischer Blutdruckanstieg sollte die Hirnrindenzirkulation aufrecht erhalten, doch dieser ist bei fortgeschrittener **Dehydrierung** gegen das Ende eines langen Alpenfluges oder bei engem Kreisen kaum mehr in genügendem Masse erzeugbar. Nach tagelangen Streckenflügen wurden schon mal sehr tiefe Blutdruckwerte von lediglich 70/40 mm Hg gemessen und der Autor erinnert sich noch, wie ein notorischer Alpenflugspezialist, nach zehnstündigem Wellenstreckenflug, sich zwar noch selbst aus dem Flugzeug befreite, dann aber wegtorkelte, um Gesicht voran in die Flügelvorderkante zu krachen und halb KO zu Boden zu gehen.

Gemäss Volksmund sollen beim Höhenflug ja *"übermässig viel Hirnzellen draufgehen"*. **Nein, so schon nicht!** Nur dort, wo die Hirnrinden-Mikrozirkulation infolge Hirndruckes ganz stillsteht, also z.B. nach *überlebtem* Schädel-Hirn-Trauma, schwerstem Kreislauf-Schock oder Kreislaufkollaps, Höhenhirnoedem mit Koma oder längerdauernder schwerer Hypoxie. Nicht überraschend äussern sich die Spätschäden dann in einem katastrophalen Kurzzeitgedächtnis, im Verlust der mentalen Flexibilität, in der Versimpelung des sprachlichen Ausdrucks

und in Wortfindungsstörungen. Dazu gesellen sich der Verlust des verbalen Lernvermögens, Stimmungsschwankungen, die Nivellierung des Gefühlslebens, Konzentrationsverlust, visuelle und verbale Erkennungsstörungen, eine rasche Ermüdung und geringe Belastbarkeit, verlängerte Reaktionszeiten, u.a.m. Dies ist kurz ausgedrückt die gefürchtete **Symptomatologie der Senilität!** Diese Erkenntnisse aus Unfallspitälern und med. Everest-Expeditionen wären deshalb auch für *überlebte* Flugunfälle oder O₂-Pannen in grosser Höhe anwendbar.

Wer, wie der Autor etwas Mühe bekundet, plattgedrückte Hirnwindungen mit der sicheren Flugzeugführung in Verbindung zu bringen, interessiert sich vielleicht auch für die folgenden Abschnitte mit Beispielen reduzierter Hirnrinden-Funktion aus erlebter, realer Flugpraxis:

9. Auswirkungen der dauernden, milden Hypoxie und AMS im Fluge:

- **Abnormale Müdigkeit** mit unaufhörlichem Gähnen, welche sogar auf brutale Schmerzreize (wie z.B. Kneifen) nicht weicht. Das Auftreten von **Gähnen** und **Seufzern** gilt übrigens als feiner Indikator für den O₂-mangel des Hirnstammes. Ausgeschlafen und fröhoxigeniert trifft man diese Atmungs- und Wachzentrums-Wecker kaum im Fluge.
- Progressives, zermürendes **Stirnkopfwegh**, garantiert vorhanden nach der fünften Flugstunde. Schmerzmittel, wie Dafalgan®, Voltaren®, u.a.m. vermögen dieses zwar etwas zu lindern, allerdings ohne den vollen Fluggenuss wieder herzustellen.
- **Mundtrockenheit**, durch die stressbedingte Hemmung der Speichelsekretion oder bei **Dehydrierung** nach **Flüssigkeitsverlusten** durch Schwitzen, *Atemfeuchte* und vermehrte Harnproduktion bei Kälte oder eben *hypoxischer Wassereinlagerung*. Häufiges Trinken, kombiniert mit einer der verlustfreien Pinkeltechniken im Fluge, so wie das Warmhalten der Füsse werden jedenfalls wärmstens empfohlen.
- **Diskrete Mehratmung** (tief, regelmässig, *nicht hechelnd*), welche bei der *geringsten* körperlichen Anstrengung, wie Wasserlösen, Proviant hervorzurren, O₂-Flasche aufdrehenwollen erst im Fluge, etc. in **manifeste Atemnot** umschlägt. Das oft beobachtete **temporäre Atemanhalten** bei

Absorption mit einer wichtigen Tätigkeit, wie Aufwind zentrieren, PDA/Rechner ergründen, Krete knapp überfliegen, etc., so wie das noch kaum erforschte Wechselspiel zwischen **Hyperventilation** und darauf folgender **Atempause** (fehlender Anreiz bei zu tiefem CO₂-Spiegel), äussert sich typischerweise in **episodisch periodischer Atmung**.



Periodische Atmung eines Patagonien-Copiloten auf 4'300 m, trotz EDS (mit Nasenkanülen) auf "setting" R/M. Grün sind nicht etwa die Atemexkursionen, sondern die **oszillierende O₂-Sättigung** nach Hyperventilation und Atempausen, während **Blau** die respiratorische **Variation der Herzfrequenz** wiedergibt.

- **Augenbrennen** nach einigen Flugstunden. Ob bereits ein hypoxisches Hornhautödem vorliegt, nur verflüssigte Sonnencreme oder Schweiß eingeflossen ist oder sich gar eine Hornhautentzündung ("Keratitis solaris") bei zu schwacher Sonnenbrille für den Flug über schneebedeckte Berghänge entwickelt hat, bleibe dahingestellt.
- **Unlust** und **Demotivation**, beide atypisch und fehl am Platz in der Freizeit-Aviatik.
- Unbemerkte **Verblässung der farbigen Landschaft**, welche nur die Applikation von Zusatz-O₂ ins Bewusstsein bringen kann.
- **Unfähigkeit Neues zu assimilieren und auf allen Tasten des Klaviers zu spielen.**

"Mild hypoxia (found at 8'000 ft, 2'438 m) might impair the learning of new tasks and the performance of complex tasks" (Ernesting 1962, Denison 1966, Ledwith 1970)

Im Klartext heisst dies auch, dass der Pilot vorliegende Info nicht auswertet oder, dass er nicht mehr die gesamte Komplexität seines PDA oder Bordcomputers zu nützen weiss. Aus einem begangenen Lapsus zieht er keine Lehren mehr und realisiert spät, dass sein **Flugstil immer primitiver und gröber**

wird: Polygone in den Abwind, statt enge, zentrierte Thermikkreise, mehr Weile als Eile beim Vorfliegen, suboptimale Klappenbedienung, etc. Es häufen sich **Unterlassungen, Fehlmanipulationen, unpräzise und inkomplette Aktionen**. Während anspruchsvoller Flugphasen oder in brenzligen Situationen, d.h. wenn Stress dazu kommt, ist früher Gekonntes plötzlich nicht mehr machbar und der Pilot wird fürchterlich ideenarm; er kann dann nur noch nach **Flugregeln** und **Checklisten** weiterfliegen.

- **"Delayed situation awareness"**, meint die **späte Wahrnehmung** speziell von **langsam ablaufenden Veränderungen** und äussert sich in unvorsichtigem Einfliegen in meteorologische oder topographische Fallen, aus denen man sich dann nur unter Einsatz des gesamten fliegerischen Könnens wieder befreien muss, sofern dieses ab einem leicht hypoxischen Gehirn überhaupt noch voll abrufbar ist. Typische Situationen im Fluge sind die verspätete Wahrnehmung der Abenddämmerung unten auf der Erde, einer Wetterverschlechterung, der geschwundenen Arbeitshöhe, des Leistungsabfalls (Tourenzahl, erzielter Schnitt), der fast leeren Tankanzeige oder der Abdrift vom Idealkurs. Manchmal erinnert erst die **"Allesgrau-Panoramasicht"** an die Einhaltung des Wolkenabstandes.
- **Low level of suspicion**", bezeichnet eine irrationale **Gutgläubigkeit**: *"am Talende tut's dann schon wieder auf"* oder etwa den **ausbleibenden Verdacht**, *"dass hier etwas nicht stimmen kann"*, sei es bei der Navigation, bei der eigenen Höhenatmung oder bei Divergenzen zwischen Landschaft und Fliegerkarte. Der bekannte Ausdruck **"Höhenrausch"** ist zwar für eine stuporöse, wohlige Handlungssohnmacht in Höhen ab 20'000 ft (6'096 m) gedacht. Eine gewisse **Sorglosigkeit** und **Selbstzufriedenheit** ist aber bereits in niedrigeren Höhen auszumachen. Sie äussert sich etwa in oberflächlichem Kartenstudium: *"allgemeine Richtung ok!"*, in der allzu optimistischen Interpretation der Fluginstrumente: *"diese Höhe wird schon reichen"* oder auch im unterlassenen Einholen von aktueller, flugrelevanter Info oder dem Verzicht auf Ueberprüfung und Umsetzung derselben, dort wo sie unverlangt vorliegt. In dieses Kapitel gehört vielleicht auch das eigentümliche **Herdenverhalten** einiger Alpensegelflieger, welche sich sofort und leichtfertig der Meinung des **Leitadlers** anschliessen, sobald dieser am

Funk kundtut, dass er jetzt dann umkehren werde. Dagegen ist die wohlbekannte *Hemmung* vieler Freizeitpiloten, sich bei ATC anzumelden, kaum rein hypoxischer sondern eher charakterlicher Natur, da sie ja auf allen Flughöhen vorkommt...

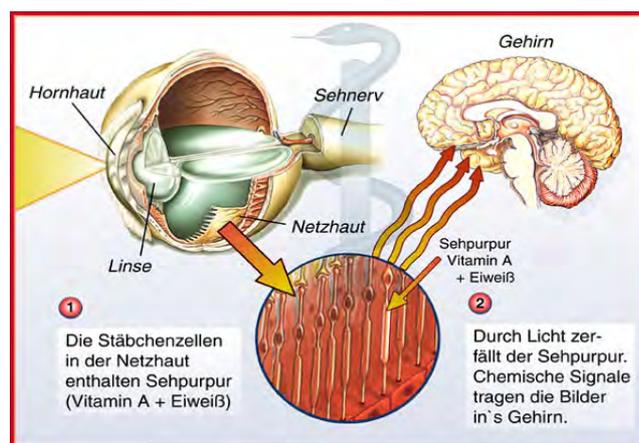
- **"Target fixation"** heisst Verzicht auf alternative Optionen als die ursprünglich auserwählte (z.B. den heimischen Flugplatz oder den Wendepunkt anzufliegen), an dem auch dann noch eisern festgehalten wird, wenn die Voraussetzungen dafür (Abflughöhe/Treibstoffvorrat) längst nicht mehr gegeben sind. Aus der Stressforschung könnte man den Ausdruck **"sturer Zielblick"** ausleihen, bei dem die Ausblendung anderer Optionen als Folge eines gefässverengenden *Hormongewitters* bei **Aengsten, Schreck und Stress** auftritt. Auch **Hyperventilation** ist eine typische Manifestation eines zu hohen Noradrenalinspiegels (Stresshormon!) beim Fliegenmüssen unter Zeitdruck oder in einer auswegslosen Situation. Unter diesem interessanten Kapitel werden auch Entscheide getroffen und Flugwege gewählt, welche später beim Versuch, diese analytisch nachzuvollziehen, nur noch Kopfschütteln bewirken. Es bestehen weitreichende Parallelen zur Performance nach Alkoholgenuss, man muss für die Selbsterfahrung also noch nicht in die UK !

You feel great - until it's too late !

- Mit **"insidious onset"** beschreibt der Anglophone den *heimtückischen Beginn* der Hypoxie, weil das **Urteilsvermögen** bereits nicht mehr vorliegt, wenn es benötigt wird. Man kann demzufolge nicht selbst beurteilen, ab wann denn Sauerstoff nun genommen werden muss. Wer die Gefahr seiner Höhenlage nicht mehr erkennt steigt evtl. weiter, hinauf bis in wirklich lebensgefährliche Höhen. Dabei wähnt er sich typischerweise noch lange Herr der Lage, obwohl die spätere Analyse des Flugverlaufes dies nicht immer bestätigen kann. Das **analytische Denken** des Piloten verkommt sukzessive zum **kybernetischen Computerdenken**:
- **Fehlende Antizipation**, d.h. die Lösungssuche beginnt erst wenn das Problem drängt: Der vormalige *"Aha"-Pilot*, der den Thermikschlauch an vorbestimmter Stelle vorfindet, wird so zum *"Hoppla"-Piloten*, der auf unerwartetes Steigen angewiesen ist.

- **Simplistische Argumentation:**
"this has never worked in the past, why should it now"?
- **Der erste Eindruck haftet:**
"what looks like a bird must be a bird"!
- **Ausschluss des Unwahrscheinlichen:**
"There is no such thing, like..."
- **Resignation statt Optimismus:**
"Everything is going wrong today" !

10. Hypoxisches Sehen und Erkennen



Subjektiv wahrnehmbar ist vorerst nur das bereits erwähnte **Augenbrennen**. Objektiv wird eine verlangsamte **Hell-Dunkel-Adaptation** und eine Empfindlichkeit auf **Blendung** notiert, was mit fluidisierten Muskelzellen der Blende (Iris) und der verlangsamten **Regeneration des Sehpurpurs** zu tun hat. Die **Erfassung der Flugobjekte** in der Umgebung und deren Scharfeinstellung ist verzögert. Sicher ist die **verminderte Sehschärfe** jenseits der fünften Flugstunde keinem Alpenflieger entgangen. Schliesslich soll noch eine unmerkliche, in der UK jedoch messbare **Einschränkung des Gesichtsfeldes** erwähnt werden, ohne dabei gleich vom *"Tunnelblick"* zu sprechen. Die **Stäbchenzellen** in der peripheren Netzhaut (Retina) gehören zu den O₂-empfindlichsten Zellen des Nervensystems; diese sind für das **Schwarz-Weiss-Sehen**, d.h. für **Kontraste** und die Wahrnehmung von **peripheren Bewegungen**, so wie für das **Nachtsehen** zuständig. Zum **Objekterkennen, Scharf- und Farbsehen** muss das bewegte Objekt zuerst durch Rotation des Augapfels auf dem gelben Fleck der Netzhaut (Macula) abgebildet werden, wo die etwas O₂-resistenteren **Zapfenzellen** dominieren. Sind die Zugmuskeln am Augapfel und die Sehnerven *"fluidisiert"*, erfolgt die **Scharfeinstellung** des Bildes etwas verzögert.

Wenn wir schon bei der Sehfunktion in der Höhe sind: Auch schon bemerkt, dass der Segelflieger, und zwar ausdrücklich auch der mit O₂ gutversorgte, die anderen weissen Segelflugzeuge am blauen Himmel hoch oben in der Welle entweder vergebens sucht oder erst im allerletzten Moment wahrnimmt? Ausserhalb eines O₂-Mangels, hat dies mit der **Ruhefokusbereich des Auges** ("empty field myopia") von ca. 6 m zu tun. Der so etwas "kurzsichtige" Pilot darf also nicht einfach in den blauen Himmel starren in der Hoffnung andere Flugobjekte im weiten Winkel des Gesichtsfeldes vorbeifliegen zu sehen, sondern muss diesen mit seiner vollen Sehkraft systematisch "scannen". Hätten alle Rümpfe eine dunkle Bauchseite, so würde dies zweifellos deren **Erfassung als bewegte Kontraste** im peripheren Gesichtsfeld, v.a. vor Wolken und Schneefeldern oder eben am hellblauen Himmel erleichtern, auch wenn der Pilot zufällig nicht fokussiert hinguckt.

Der bis zu dieser Literaturstelle ausharrende Leser hat längst gemerkt, worauf der Autor hinaus will: Wenn jeder Luftraumbenutzer seinem Gehirn nur die beiden einzig nötigen Betriebsstoffe **Glucose und Sauerstoff**, so wie die Transportflüssigkeit **Wasser** in genügendem Masse gönnen würde, könnten wir alle risikoärmer fliegen. Könnte vorgängige Hypoxie nach fatalen Flugunfällen laborchemisch noch nachgewiesen, statt nur vermutet werden, so wie routinemässig Alkohol und Kohlenmonoxyd (CO), wäre der in Unfallberichten meist gefolgerte **"Pilotenfehler"** dann, seinem Gehirn nicht rechtzeitig den mangelnden Sauerstoff zugeführt zu haben. Analog zum unfallverursachenden Autolenker, der ja nicht verurteilt wird, weil sich seine Fahrkünste zur Unfallzeit schmählich verabschiedet haben, sondern weil er diese vorgängig bewusst mit Alkoholpromillen ausser Gefecht gesetzt hat...

11. Vermeidet denn die Frühoxygenation alle erwähnten Beeinträchtigungen der Flugsicherheit und des Fluggenusses?

Wird ein Sauerstoffgerät frühzeitig in Betrieb genommen, z.B. ab 5'000 ft (1'524m), so müssen die allfälligen respiratorischen Kompensationsmechanismen (HV) mit den ihnen eigenen Nebenwirkungen nicht beansprucht werden. Wer besagte Nebenwirkungen noch nicht zu kennen glaubt, soll einmal eine Luftmatratze rasch mit dem Mund aufblasen! Grundsätzlich erlauben alle O₂-Geräte die **Frühoxygenation**, aber nur das Electronic Delivery System (**EDS**) mit seiner sparsamen "O₂-pulse demand technology" eignet

sich vernünftigerweise dafür. Segelflieger haben für lange Alpenflüge das logistische Problem des begrenzten Sauerstoffvorrates. Dem Autor ist kein Alpenstreckenflieger bekannt, welcher die Frühoxygenation konsequent mit einer "diluter demand"-Anlage praktiziert, einerseits weil diese bereits in unteren Höhen unnötige O₂-Luxusgemische anbietet, andererseits aber auf die Rückatmung der noch O₂-reichen Ausatemluft verzichtet. Trotz des hohen O₂-Verbrauches sind es aber sichere Anlagen bis auf 33'000 ft (10'058 m). Eine 3.8 l Stahlflasche mit 200 bar, reicht mit einer "diluter demand"-Anlage gerade mal 45 bis 120 min, je nach Flughöhe und mit dem Atemminutenvolumen eines 90 kg-Piloten.



"Diluter demand"-Anlage mit bulkigem, rein mechanisch höhengeregeltem O₂/air-Mixer und dem lästigem Faltschlauch. Würde ab 7'600 m 100 % O₂ eingeatmet, so verlassen noch 95 % O₂ das System mit jeder Ausatmung.

Ebenfalls rel. zuverlässig sind die "constant flow"-Anlagen (Dauerströmer), auch wenn der benötigte O₂-"flow" von 1 l/min/10'000 ft jedesmal der künftigen Flughöhe angepasst werden muss. Um dem Nachteil derselben zu entgehen, dass während der Ausatmung ca. 2/3 des O₂-"flows" wirkungslos wieder ausgeleitet werden, könnte man **Reservoir-Nasenkanülen** vom Typ **"Oxymizer"** verwenden, die den ständigen O₂-"flow" während der Ausatmung wenigstens auffangen.



"Oxymizer"-Nasenkanülen mit Reservoir, die so mit einem geringeren O₂-Durchfluss auskommt

Dazu gibt's das feiner abgestufte "Nelson A3-O₂-Flowmeter", welches direkt in ft. oder in Höhenmetern, statt in l/min graduiert ist.



Nelson A3-Flowmeter mit Haupthahn zur Kombination mit den Oxymizer-Nasenkanülen. Der benötigte O₂-flow ist von 10'000 bis 18'000 ft graduiert und muss mit dem Drehknopf im rechten untern Bildviertel feindosiert werden.

Dieser etwas sparsamere Dauerströmer wäre allenfalls eine Billiglösung für den hinteren Sitz, erfordert aber eine gute Instruktion des Passagiers; der verantwortliche Pilot verdient allerdings den *Goldstandard*, d.h. das EDS, um sich nicht unnötig ablenken zu müssen.

12. Die Ideallösung: EDS auf "setting" D5 zusammen mit den Nasenkanülen:

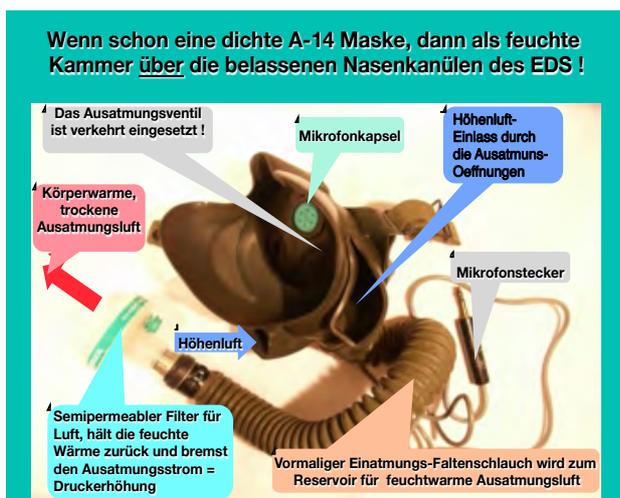
Seit 13 Jahren ist glücklicherweise das EDS-D1 und seine Nachfolger EDS-D1O₂ und EDS-D2O₂ im Handel, welches mit seiner "pulse demand technology" bei Triggerschwelle D5 = 5'000 ft (1'524 m) pro 5-stündigen Alpenflug aus einer 3.0 l-Sauerstoffflasche erfahrungsgemäss

nur etwa 40 bar bezieht. Dies entspricht 120 Normallitern O₂ und eine volle Flasche reicht so für bis zu 5 übliche Alpenflüge.



Die Begeisterung des Autors für diesen ingeniösen, handlichen und sparsamen "altitude regulated on demand flow fractioner" ist nach 13 Flugsaisons immer noch ungebrochen, auch wenn gute Feldstudien für seinen Einsatz im Alpensegelflug fehlen. "FAA approved" sind nämlich nur die mit der neuartigen "pulse demand technology" abgegebenen O₂-Mengen, welche der Jahrzehnte alten FAR 23.1447 für "constant flow" Geräte genügen und den 1 l/min O₂ pro 10'000 ft (3'048 m) Höhe entsprechen. Eigentlich wurde das EDS unter dem falschen Protokoll des Dauerströmers zugelassen (\neq "homologiert", da es sich ja um eine **nicht eingebaute Zusatzausrüstung** handelt). Damit **sollten** theoretisch auch einige für den Dauerströmer durchaus sinnvolle Einschränkungen übernommen werden, wie der Wechsel auf eine "full face mask" ab 18'000 ft (5'486 m) und die max. Einsatzhöhe von 25'000 ft (7'620 m). Was die abgegebenen O₂-Mengen anbelangt, arbeitet das EDS auf allen Höhen effizienter mit gutschitzenden *steifen Nasenkanülen* (**nicht "Oxymizer"!**) und wird mit denselben auch zuverlässiger getriggert als mit irgendeiner Gesichtsmaske. Das dem EDS beiliegende, perforierte Billigmodell, weist allerdings mehrere *Nachteile* auf: Unverständlicher Sprechverkehr, Beschlagen der Sonnenbrille wegen undichtem Maskensitz, verspätete Triggerung des O₂-Pulses. Dieser gelangt, nach der anfänglichen Verdünnung im Masken-Totraum, erst mit dem wirkungslosen *Pendelluft-Anteil* des Atmungsvolumens in die Lungen, d.h. erstmals nur bis in die oberen Luftwege. Pulsoxymetrisch kontrolliert, kann einzig die manuelle Verlängerung der Pulsdauer (z.B. F10 bis F25, je nach Flughöhe) dafür kompensieren. Nasenkanülen haben zudem den Vorteil der verlustfreien *Direktabgabe* der O₂-Pulse in die Nasenlöcher (so wie

"fuel injection"!)). Plafontiert hierzulande der erlaubte VFR-Höhenflug bei FL 195, so ist der Wechsel auf die Gesichtsmaske bei FL 180 nicht nur *völlig unnötig* sondern u. U. unnötig riskant. Das EDS arbeitet also mit den steifen Nasenkanülen zuverlässiger als mit irgendeiner Maske (auch der ästhetisch blauen *Alps-Maske*), jedoch nur bei **tiefen Einsaugungen der O₂-Pulse durch die freigängige Nase**, und ohne dauernde Zwiegespräche, notabene! Der Autor würde für Höhen ab FL 200 allenfalls eine, durch Inversion des Maskenventils modifizierte, dicht-sitzende A-14-Fliegermaske *über* die *belassenen* und weiter durch das EDS gespiesenen Nasenkanülen aufsetzen; eine so entstehende *feuchte Atemkammer* vermindert die Wasserdampfverluste und damit auch die Haubenvereisung. Wenn am Ansteckende des Faltschlauches noch ein bis zwei semipermeable Luftfilter angefügt werden, wird er so zum atmungsstimulierenden Rückatmungs-Reservoir, welches Wärme und Feuchtigkeit konserviert, jedoch verbrauchte Luft austreten lässt. Durch die halsnahen, ursprünglichen Auslassöffnungen wird neu die dünne Umgebungsluft angesogen.



Bei der ab 2'500 m beobachteten **episodisch, periodischen Atmung**, welche entfernt an den unregelmässigen **Atmungstyp bei GV oder Schlaf-Apnoe** erinnert, werden auch die EDS-Pulse *unregelmässig* getriggert. Man beobachtet diesen Atmungstyp der unbewussten Spontanatmung, v.a. wenn der Pilot total mit anspruchsvollen Flugmanövern (Akro, Thermik zentrieren, Pass überfliegen) absorbiert ist. Hierin liegt eigentlich das noch **ungelöste Hauptproblem** einer genügenden Oxygenation des Piloten und nicht etwa bei den abgegebenen O₂-Mengen der EDS-Pulse entsprechend der Flughöhe. Würde jeder Alpenflieger *immer* regelmässig und auch tief atmen, so wäre die Einsatzobergrenze seines EDS mit "setting" F-25 ebenfalls bei FL 330 (10'058 m),

vorausgesetzt er verwendet *geeignete* Nasenkanülen, z.B. das Modell **Hudson RCI® (Ref. 1104)** mit seinen trichterförmigen Auslässen.



Alarmgebende Episode des O₂-Sättigungsverlaufes eines Patagonien Copiloten auf 6'000 m. **Fehltriggerung** seines EDS infolge ungeeigneter Nasenkanülen in allzu weiten Nasenlöchern. Die Werte besserten sich, nachdem die Nase mit zwei Fingern ständig halb zugehalten wurde. **Rotpunktirt = krit. 90 % O₂-Sättigung**, **blau = Fingerpulsfrequenz**, aus deren respiratorischen Schwankungen sich eine erhöhte Atmungsfrequenz herausliest.

In *Ergänzung* zur Betriebsanleitung des EDS in englisch, deutsch und französisch verdienen, gemäss den Erfahrungen des Autors, noch vier weitere Punkte spezielle Beachtung:

1. Druckschläuche im Cockpit auf die nötige Länge kürzen! Das elektronische "*timing*" der Pulsdauer, entsprechend der Druckhöhe, basiert auf einem O₂-flow von ca. 15 l/min in der Nase. Ueberlange, dünne Druckleitungen, sei es vom XCR-Druckminderer bis zum EDS oder von diesem zu den Nasenkanülen, bremsen nämlich den Durchfluss gemäss physikalischen Gesetzen (Poiseuille); für einen zu schwachen O₂-flow am Kanülenende kann das EDS elektronisch nicht kompensieren, man muss die Pulsdauer *manuell* über die F-Positionen verlängern. Der geeignetste Ort für das EDS ist nicht etwa die Seitentasche, sondern ein Platz am rechten Schultergurt, damit LED und "setting" jederzeit eingesehen und jede erfolgte Pulstriggerung, so wie allfällige Alarmer trotz des Lüftungsgeräusches gehört werden können.

2. Bewusste Atmungstechnik nötig! Der zu Beginn jeder Einatmung abgegebene O₂-Puls muss auch *extratief* durch die Nase eingesogen werden. Dies erfordert eine bewusste, unnatürliche **Einatmung**, welche bei der Absorption mit einem anderen, flugrelevanten Problem sofort zur unbewussten, automatischen und oberflächlichen Atmung verkommt. Niemand, nicht einmal ein Aeronaut, kann simultan mehr

als drei Aktionen korrekt ausführen; nach der Steuerführung und der intensiven Luftraumbeobachtung oder der Ergründung des PDA erst im Fluge, bleibt eigentlich keine Lust und Kapazität mehr für willkürlich tiefe Einatmungen! Hoch oben in der Welle, ausgetrimmt und bei schwergängiger Knüppelsteuerung, ist diese wichtige und trainierbare Atmungskontrolle noch am ehesten möglich. Ein Pulsoxymeter mit regelbaren Alarmen mahnt ans vergessene Einatmen.

3. Vorgängig den atmungsunterbrechenden Vorrichtungen im Fluge, wie Harnausschluss hervorklauben, Bauchpressen zum Pinkeln, Getränke verschlucken, Sandwich verschlingen, Aus husten, Schneuzen, etc., hat sich in Patagonien die sog. **Präoxygenation** (3 min tief atmen bei "setting" R/M) vor Beginn des Unterfangens bewährt. Mit Speicher-Pulsoxymetrie bestätigt, wird so ab FL 200 dem sonst unvermeidlichen Sättigungsabfall vorgebeugt.

4. Zum EDS mit Nasenkanülen gehören immer auch **abschwellende Nasentropfen**. Im Fluge sollen diese *über* die belassenen Nasenkanülen eingeschnupft werden.

Parallel zur Breitenförderung des EDS muss unbedingt noch der **leichte Zugang zum Flaschensauerstoff** (z.B. in Alpenfluglagern) ermöglicht werden, weil es dem helvetischen O₂-Kartell momentan schwer fällt, gegenüber dem kommerziell uninteressanten Kleinkollektiv der Alpenflieger ebenfalls kundenorientiert aufzutreten. Gruppen- oder flugplatzeigene Abfüllanlagen nach dem Kaskadenprinzip, so wie Sammeltransporte am Saisonende zur Wiederbefüllung im unkomplizierten nördlichen Ausland, könnten hier evtl. Abhilfe schaffen. Flugzeug-eignere müssten aber vom gängigen Konzept der *einzigsten* dazugehörenden O₂-Flasche abrücken, um Engpässe zu vermeiden und um niemehr in Versuchung zu geraten, O₂ zu sparen oder nur noch reglementsgemäss einzusetzen.

Nun hört der Autor bereits ein Raunen in der Aviatikszene: Hat denn eine **freiwillige Initiative**, welche zudem auf **eigener Einsicht** statt amtlicher Verordnung basiert, überhaupt eine Chance, die alljährlich ernüchternde Unfallbilanz zu verbessern? Zugegeben, die **Nulltoleranz für Hypoxie durch Frühoxygenation** deckt nur einen relativ schmalen Bereich der Unfallprävention ab. Dafür besitzt sie noch ein enormes Verbesserungspotential und ist auch weniger restriktiv, als eine reaktive amtliche Verordnung! Schliesslich wollen wir ja alle jene Impakte vermeiden, die mit Reparatur- und Heilungskosten oder gar Kranzspenden und

Orgelspiel verbunden sind. Seit dem Erscheinen der Urversion dieses Artikels sind über 30 spontane Zuschriften eingegangen, die alle bestätigen, dass das mit diesem Konzept erlebte **Frischgefühl**, so wie der **ungestörte Fluggenuss** durchaus auch "flight-safety"-Potential und (Ueber-) Lebensqualität beinhalten. Keiner möchte mehr zu den alten Gewohnheiten zurück. Bei den Segelfliegern erfolgte die bisherige, unforcierte Verbreitung des EDS jedenfalls äusserst rassig, während bei den übrigen Aeronauten teilweise noch ein **chronischer Nachholbedarf** weiterbesteht.

"Il n'est pas défendu, d'agir plus intelligemment que veut la réglementation en vigueur" !

Gérard Herbaud, 2004

13. Weiterführende Literatur:

1. Höhenmedizin:

Ward, Milledge and West: High Altitude Medicine and Physiology. Second edition 1995; Chapman & Hall Medical, New York.

2. Grundlegendes:

<http://www.dr-amy.com/rich/oxygen/>
<http://www.avweb.com/news/aeromed/181934-1.html>

3. EDS-D1:

<http://www.mhoxxygen.com>
<http://www.ontopag.ch>

4. Für Info und "feed back":

eagle26e@bluewin.ch / +41 32 835-1155

Version 2.0; Jan. 2011

Ab hier ist noch Raum für eigene Erinnerungen:

