

Nullhypoxie mit dem EDS-D1 anstelle von FAR 91.211 für "see and avoid", Vigilanzhaltung und den Fluggenuss auf langen Alpenflügen im Höhenband zwischen 1'500 und 3'800 m?

eine kritische Betrachtung durch die Optik von

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



Der Autor (*1943) ist über den Modellflug und über FVS-Kurse in Frauenfeld zum Segelflug gestossen und hat anschliessend bei der AFG seine alpen- und streckenfliegerische Erfahrung erworben, die heute mit 2'400 Std. Segelflug und 150 Std. Motorflug in Canada zu Buch steht., Er fliegt heute kaum mehr für Wettbewerbspunkte oder Auszeichnungen, sondern hält als Segelflugtourist den beschaulichen Alpenstreckenflug mit Megapixeln fest. Seit 1995 pilotiert er, alterierend mit Edwin Schwab, die ASH-26 E, HB-2276, SSS; zum Fluggenuss nie ohne das EDS-D1.

Nach dem Medizinstudium hat er ab 1971 das mit dem Pilotenberuf vergleichbare Metier eines Anästhesiologen erlernt und bisher an 71 Spitälern/Kliniken des In- und Auslandes praktiziert. Seit 1996 ist er freischaffend auf Stör, um so wenigstens während der Segelflugsaison, das branchenübliche Kettenhund-Dasein mit der Freiheit des Adlers der Lüfte tauschen zu können. Er war nie Fliegerarzt FAI oder Vertrauensarzt BAZL. Gelegentlich trifft man den damals verhinderten Linienpiloten auch in Ambulanzjets oder Linienflugzeugen, als ärztlichen Begleiter auf medizinischen Repatriierungen. Er wohnt mit seiner fliegerisch uninteressierten Familie am Neuenburgersee. Sein spezielles Interesse für Höhenmedizin, Stressforschung und "flight safety" ist durch vergleichbare Anforderungen und Ziele in Beruf und Hobby entstanden.

Andauernde, leichte Hypoxie auf langen Alpenflügen:

Die folgenden flugmedizinischen Ausführungen sind einenteils aus der Literatur zusammengelesen, doch andererseits auch durch eigene Erfahrungen bestätigt. Sie haben die **leichte Hypoxie über Stunden** (geringer Sauerstoffmangel auf zellulärer Ebene) zum Thema, wie sie in mittleren, offiziell noch nicht sauerstoffpflichtigen Flughöhen vorkommt. Angesprochen sind damit v.a. jene Aeronauten, welche auf ihren Alpenflügen/-fahrten jemals von Stirnkopfweg geplagt wurden oder dauergähnend gegen das Einschlafen im Fluge angekämpft haben und auch all jene, welche stur die geforderten Höhenlimiten

abwarten, bevor sie Zusatz-Sauerstoff einsetzen würden, sich andererseits jedoch wundern, warum Alpenfliegen so schlapp macht. Die Botschaft richtet sich auch an alle Helikopter- und Alpenrundflug-Piloten, deren Fluggeräte kaum schon mit Sauerstoff ausgerüstet sind, so wie an die Delta- und Gleitschirm-Streckenflieger wegen ihren fragilen, biologischen Fahrgestellen, Aeronauten 60+ und speziell an alle "hypoxic hardliners", welche nichts von "Sauerstoffdoping" halten.

Die Notwendigkeit des Sauerstoffzusatzes im Fluge, aus rein administrativer Sicht wohlverstanden, regelt seit Jahrzehnten, d.h. seit dem 30.9.1963, die von der FAA übernommene Vorschrift FAR 91.211, welche etwas abgekürzt 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!"

* "Not speaking of his age, health or those of his passengers" hätte hier fairerweise noch hingehört, trotzdem sich später an gleicher Stelle liest, dass erst ab 15'000 ft (4'572 m) alle Flugzeuginsassen Sauerstoff zu sich nehmen müssen. Rückblickend auf eigene Mühen im Alpenflug, aber durch die heutige Optik betrachtet, erscheint dem Autor der vorschriftskonforme Höhenflug wie ein behördlich toleriertes Schlafmittel für Piloten und Passagiere. Paradoxiertweise ist Medizinal-Sauerstoff in gewissen Ländern, darunter Frankreich, USA, u.a.m., als Medikament registriert; dessen Langzeitanwendung würde somit eine ärztliche Verordnung erfordern... Die unverändert übernommene und seither nie mehr angepasste FAR 91.211 ist demnach vergleichbar mit einer einsamen paradiesischen Insel, welche von der Flut der zahlreichen anderen pingeligen FAR/JAR-Vorschriften bisher verschont blieb.

Die Studien, die FAR 91.211 zugrunde liegen, stammen noch aus der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg und wurden in UK's an jungen Militärfliegern durchgeführt. Daher darf man die Relevanz für die gegenwärtige segelfliegerische Realität ruhig anzweifeln, weil ja Kälte, Funklärm, Sonneneinstrahlung, Aengste, Stress, Turbulenzen, Kreisbeschleunigungen, v.a. beim steilen Kreisen in Rotoren, Flüssigkeitsmangel (Dehydratation) und Altersgebresten in der UK nicht vorkommen.

Nicht auszuschliessen ist ferner, dass die Atmosphäre in den damaligen kleinräumigen UK's effektiv etwas sauerstoffreicher war als der abgelesenen Druckhöhe entsprach; die ärztlichen Versuchsleiter, welche selbstverständlich alle 100% Sauerstoff über ihre Fliegermasken einatmeten, jedoch nur 5% davon selbst verbrauchten, haben wahrscheinlich die UK über ihre Ausatmung mit Sauerstoff angereichert und damit die erhaltenen Resultate beschönigt. So war es wenigstens anlässlich einer Jahre zurückliegenden TV-Sendung aus der UK des FAI in Dübendorf und mit Mäni Weber als Versuchskaninchen; er machte höher oben schlapp als die meisten schweizerischen Militärpiloten.

Ausserhalb der UK hat die globale Erwärmung der vergangenen Jahrzehnte die Höhenluft nicht etwa sauerstoffreicher, sondern nur schmutziger gemacht.

Es sei auch daran erinnert, dass zur Zeit der massgebenden Versuche noch keine Finger-Pulsoxymeter mit Sofortablesung zur Verfügung standen; die prozentuale Sauerstoffbeladung des Blutes musste indirekt über arterielle Blutgasanalysen gefunden werden. In der UK hätte sie sich etwa gemäss der untenstehenden Tabelle dargestellt:

Höhe in ft	Höhe in m	O ₂ -Sättigung Kind	O ₂ -Sättigung Raucher
0	0	100 %	95 %
10'000	3'048	93 %	88 %
13'000	3'962	88 %	83 %
16'000	4'876	80 %	75 %
20'000	6'096	75 %	70 %

Dabei ist 90 % die minimal erforderliche O₂-Sättigung für ein einwandfrei funktionierendes Nervensystem; 75 % ist diejenige des dunkelblauen, venösen Blutes, bevor es in die Lungen wieder mit Sauerstoff beladen wird. Ein gesunder Erwachsener erreicht auf 500 m Höhe meist 96 %. Im Operationssaal, wo sauerstoffreiche Gasgemische appliziert werden können, hätte der Anästhesist bereits Handlungsbedarf, wenn die O₂-Sättigung unterhalb 93 % sinken würde.



Abbildung: Miniaturisiertes Finger-Pulsoxymeter

Spirometer und Massenspektrometer (zur Atemvolumenmessung resp. Sofortanalyse der Gaszusammensetzung in der Atemluft), so wie

Elektrokardiograph waren damals noch grossvolumige Geräte, Telemetrie aus engen Cockpits erst im Versuchsstadium. Zudem liessen die engen UK's keine flugrelevanten psychotechnischen Tests und Seprüfungen zu, und in den damaligen einfachen Flugsimulatoren konnte die leichte Höhenhypoxie noch nicht simuliert werden.

In letzter Zeit wurde die medizinische Höhenforschung wesentlich durch bergsteigende Aerzte vorangetrieben, während sich die beamteten Flugmediziner etwas hinter ihren rein militärischen Fragestellungen zu verschanzen scheinen, mit löblicher Ausnahme von Dr. med. Jürgen K. Knüppel, DAeC, DGLRM, DFV, ASMA, der selbst Segelflieger ist.

Definitiv erhöht hat sich seit damals das Durchschnittsalter der Alpenflieger, welche über das ideale Flugmaterial für längere Alpenflüge samt der dazu notwendigen Freizeit verfügen. FAR 91.211 berücksichtigt diesen Umstand nicht einmal in einer Zeit, wo in einigen Ländern die periodischen, fliegerärztlichen Kontrollen für Segelflieger und Ballonfahrer (vernünftigerweise) fallengelassen und mutig durch die flugmedizinische Eigenverantwortung ersetzt worden sind.

Diese Selbstverantwortung für die jederzeitige eigene Flugtauglichkeit scheint in der Segelflugszene noch nicht zum Instinkt geworden zu sein. Immer wieder finden sich unter den Freizeit-Piloten sog. **"hypoxic hardliners"** mit einer eigentümlichen Risikobereitschaft ("who flies highest before he dies, wins!), welche FAR 91.211 missachten oder wenigstens äusserst tolerant anwenden. In Alpenfluglagern kann man noch heutzutage auf Segelfluggerät ohne eingebaute Sauerstoffanlage oder dann auf ältere, voluminöse Sauerstoffregler (air/O₂-Mixer) aus Militärbeständen treffen. Gegen letztere ist eigentlich nichts einzuwenden, wären sie regelmässig gewartet und nicht so verschwenderisch mit dem Sauerstoff. Um den Sauerstoffvorrat zu schonen praktizieren dann einige Segelflieger die "intermittierende" Sauerstoffnahme, gewissermassen "arousal as needed", oder benützen die Sauerstoffmaske bis zum ersten Einnicken gar im "stand-by"-Modus. Die Lunge funktioniert aber nicht wie ein Benzintank der gelegentlich nachgefüllt werden kann. Jede Veränderung des eingeatmeten Gasgemisches wirkt sich mit dreiminütiger Verspätung im Gehirn aus; dies entspricht der Dauer des Sauerstoffvorrates in den Lungen. Steht im Fluge kein Zusatz-Sauerstoff zur Verfügung, v.a. wenn für den Höhendiamanten nur noch wenige hundert Höhenmeter fehlen, ist die schliesslich angewandte Höhenlimite dann oft was die Welle hergibt!

Aus heutiger medizinischer Sicht sind bei FAR 91.211 die Höhenlimiten vor Sauerstoffzusatz für Aeltere und Raucher unter den Aeronauten und Passagieren 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 11'318 ft (3'450 m) zu beobachten; einige Flachlandtouristen pausieren bereits auf den ersten Treppenstufen, andere haben ernstere Probleme mit der ungewohnt kalten Höhenluft! Ein 67-jähriger, kardial bislang unbelasteter Gast des Autors aus Uebersee hat

dort oben, trotz prophylaktischer "mollo-mollo"-Warnungen, seinen ersten pektanginösen Anfall erlitten und ist später an seiner zweiten Herzoperation verstorben! Parallelen zum Grossvater, der zum 80-ten einen Gutschein für einen Matterhornrundflug geschenkt erhält, sind nicht abwegig; zu bedenken ist dabei, dass die Verantwortung für das Ueberleben der Fluggäste ausschliesslich beim durchführenden Rundflugpiloten und nicht etwa bei der reglementierenden Behörde liegt, auch wenn beim Alpenrundflug FAR 91.211 respektiert würde.

Die Mär von der sog. Zone der vollständigen Kompensation:

Dass die dünne Höhenluft (wie auch gelegentlich die dicke Luft in der Flugplatzbeiz) prozentual gleichviel, nämlich je 21 % Sauerstoff enthält, der Sauerstoffmangel des Hochfliegenden somit durch den abnehmenden statischen Druck entsteht und dass es auf den im Nervensystem verfügbaren minimal notwendigen O₂-Partialdruck (70 mm Hg, entsprechend 90 % O₂-Sättigung) ankommt, wurde uns schon von unseren Fluglehrern weis gemacht. Daraus wäre eigentlich unschwer abzuleiten, dass die Hypoxie gleich nach dem Start beginnen muss und sich mit zunehmender Flughöhe verschlimmert und nicht erst ab einer arbiträr gerundeten **Störschwelle**, entsprechend der postulierten Obergrenze einer sog. **"Zone der vollständigen Kompensation"** (2'000 - 4'000 m). Die damalige Erschaffung dieser hypoxischen Freizone basierte nämlich auf der fälschlichen Annahme, dass eine kompensatorische Atmungs- und Kreislaufsteigerung ausnahmslos bei jedem Piloten anzutreffen sei und er damit bis auf diese Schwellenhöhe von jeglichem Sauerstoffmangel gefeit ist. In Tat und Wahrheit ist dieser Kompensationsmechanismus aber äusserst anfällig auf gewisse Medikamente, darunter Blutdruckmittel, Sedativa, gewisse Schmerzmittel, etc; sie ist ferner von der Tagesform (Schlafmanko, Alkoholnachwirkung!) abhängig und individuell sowieso unterschiedlich gut ausgeprägt. Unmittelbar nach einer Vollnarkose fehlt diese Kompensation z.B. völlig, deshalb erhalten alle Patienten prophylaktisch Sauerstoff, auch wenn sie pulsoxymetrisch überwacht werden.

Dazu zwei typische Beispiele aus einem Alpensegelfluglager aus der Vor-EDS-Zeit, welche aufzeigen, dass auf diese Kompensation kein Verlass ist und wenn schon, dass die kompensatorische Hyperventilation kein harmloses Nebenwirkungsmuster aufweist.

1. Fall: Ein Segelfluglehrer mit einer jahrzehntelangen Alpenflugpraxis wird nach der altersbedingten Aufgabe seiner Flugtätigkeit ein halbes Jahr später, diesmal als Passagier, auf einen Alpensegelflug mitgenommen. Nach anfänglichem Höhengewinn bittet er den verantwortlichen Piloten bald wieder zu landen, wegen **Uebelkeit, Kopfweh, Unwohlsein**, nicht jedoch Atemnot. Seine Ventilationssteigerung ist diesmal ausgeblieben, da er Monate vorher eine Strahlentherapie an seinem Hals über sich ergehen lassen musste. Dabei wurde der Bio-Sensor für Hypoxie (das sog. glomus caroticum in der Verzweigung der Halsschlagader) zerstört und das Atmungszentrum wartete vergebens auf ein "input" zur

Ventilationssteigerung. Rückwirkend betrachtet wurde er rasch **akut bergkrank**.

2. Fall: Auf einem Küchenfeeflug zum Finsteraarhorn berichtet die vertieft atmende, doch nicht etwa hechelnde Passagierin zuerst von einem **Kribbeln** an Händen und Füssen, etwas später von einer **Verkrampfung** der Finger und des Kiefers und einem ungewohnten **Tunnelblick** bis sie sich schliesslich aus dem hinteren Sitz überhaupt nicht mehr zu Worte meldet und auch nicht mehr antwortet. Der verantwortliche Pilot, ein Fluglehrer, landet so schnell wie möglich und der am Boden bereitstehende Arzt stellt eine **Hyperventilations-Tetanie** (Ueberatmungs-Muskelkrampf) fest. Die vollständige Erholung dauerte mehrere Stunden. Hier hat das Zusammentreffen von dünner Luft und wahrscheinlich Flugangst die Sauerstoffversorgung des Gehirnes, trotz besserer Lungenfunktion durch die Mehratmung, über die begleitende Hirngefässverengung gedrosselt.

Im Kollektiv der Flugtauglichen befinden sich analog zu den Bergsteigern auch ca. ein Viertel **schlechte Akklimature**, welche sich wegen ungenügender Mehratmung als **wenig höhentauglich** erweisen; es sind diejenigen, welche früh über **Kopfweh im Fluge** (Hirndruck!) klagen und schon in geringeren Höhen zu **gähnen** beginnen und den Flug jeweiligen frühzeitig abbrechen. Gähnen ist übrigens ein verlässliches Hypoxiesignal des Gehirns, und eignet sich deshalb gut für das Monitoring der Hirnhypoxie weil es auch die eingeschränkte Hirndurchblutung miteinbezieht, besser jedenfalls als die Höhenmesser- oder Pulsoxymeterablesung. Wer im Fluge gähnt soll, ungeachtet der Höhe, zur Sauerstoffmaske greifen und beim nächsten Flug die Nasenkanülen schon vor dem Start aufsetzen, mit dem **EDS-D1** auf Pos. **N** oder **D5**.

Gute und weniger gute Akklimature unter den Piloten:

>3'800 m: Sauerstoffzusatz nötig gem. FAR 91.211

1'500 - 3'800 m: Ventilationsantwort auf Hypoxie, entweder:

Lebhaft:

Hyperventilation: (Ameisenlaufen, Muskelkrämpfe, Tunnelblick), führt nach 3 Wochen zu echter respiratorischer Akklimation.

oder: Ungenügend:

Subklinische Akute Bergkrankheit des Piloten:

Hartnäckiges Stirnkopfweh

Unaufmerksamkeit, visköses Denken

Verminderte Sehfähigkeit

Konfusion, irritabilität, Lichtscheu

Druck auf der Brust

Wassereinlagerung, Oedeme überall

Abnormale Müdigkeit

Uebelkeit und Erbrechen

Muskelschwäche

<1'500 m: Keine erkenn- oder messbaren Symptome

Manchmal wird die oftmals vorhandene **hypoxische Ventilationsantwort** vom höhenmedizinisch Desinteressierten mit der echten, **respiratorischen**

Höhenakklimatisierung gleichgesetzt oder verwechselt. Die erstere ist aber eine temporäre, fakultative und unmittelbar einsetzende Ventilationssteigerung ab einem fortgeschrittenen Schweregrad der Hypoxie und ist mit den berüchtigten Nebenwirkungen der Hyperventilation verbunden. Dagegen ist die respiratorische Höhenakklimatisierung eine etablierte tiefe Mehratmung mit dreiwöchiger Evolution, welche sich auf die Sauerstoffaufnahme dann nicht gleich normalisiert. Ein Everest Bergsteiger atmet dort oben 60-80 l/min, ein Pilot in niedrigen Flughöhen ungefähr 12-20 l/min. Jeder erstmalige Höhengaufenthalt verursacht aber zu Beginn eine **dreitägige hypoxische Atemdepression mit spürbarer Leistungsminderung**, bevor die erwünschte Atmungssteigerung im Rahmen der Höhenakklimatisierung einsetzt; vorher vermag das hypoxische Atmungszentrum und die oedematösen Atmungsmuskeln die notwendige Mehratmung gar nicht aufzubringen. Dieser Umstand erklärt, warum die Neuankömmlinge im Alpen-Segelfluglager auf ihren ersten Alpenflügen oft von Kopfschmerz, manchmal auch von Uebelkeit und Unlust geplagt sind und warum sich die ersehnte Bestform erst gegen das Ende des Alpenfluglagers einstellen will.

Man akklimatisiert sich übrigens an die Höhe auf der man die meiste Zeit verbringt; die Akklimatisierung durch wiederholte Höhenflüge hat sich von der Schleppkostenseite her nicht durchgesetzt und jede während Wochen erworbene Akklimatisierung an die Höhe verliert sich im Flachland sowieso wieder innerhalb der gleichen Zeitspanne.

Seit den "Sixties" hat sich die Gesamtzahl der freizeithlichen Luftraumbenutzer vervielfacht und es sind neue Flugdisziplinen (und damit das Risiko von "mid-air") hinzugekommen. Heute trifft man entlang thermischer Flugstrassen (z.B. dem "parcours du combattant" in Südfrankreich) gelegentlich auf luftkampfähnliche Zustände, d.h. einen chaotischen "traffic" aus verschiedenen Himmelsrichtungen mit einer äusserst dynamischen Höhenstaffelung (Delphinflug) bei dem gängige Ausweichregeln überfordert sind.

Ist es da unbescheiden, für "see and avoid" behördlich vorerst einmal **den Wachzustand** zu fordern, **also die bestmögliche Seh- und Urteilsfähigkeit, Aufmerksamkeit** und auch die **schnellstmöglichen Reaktionszeiten jedes einzelnen Luftraumbenutzers**? Auch die modernen elektronischen Hilfsmittel zur Kollisionsverhütung, wie GPS-basierte / topographische Positionsmeldungen auf einer gemeinsamen VHF-Frequenz und FLARM erfordern am Schluss noch ein speditives Nervensystem zur Interpretation und raschen Umsetzung in geeignete Ausweichmanöver. Beim Menschen, dem schwächsten Glied der Reaktions-Kette, könnte also noch beträchtlich optimiert werden!

Das Konzept der Nullhypoxie zur Antikollision:

Um die Wachsamkeit über die gesamte Flugdauer sicherzustellen denkt der Autor nicht etwa an aufputschende Weckamine (STUKA-Pillen), sondern zuerst an die **Nulltoleranz für Hypoxie im Fluge**, analog derjenigen für Alkohol und andere Noxen. Die einzigen Pillen, welche bei erhaltener Aufmerksamkeit das Kollisionspotential herabsetzen, wären Antirheumata,

die dem cervicalarthrotischen Älteren wieder ermöglichen würden, zur Luftraumbeobachtung seinen Kopf schmerzfrei zu drehen. Wenn jeder Luftraumbenutzer seinem Nervensystem nur die beiden einzig nötigen Betriebsstoffe **Glucose** und **Sauerstoff** gönnen und sogleich das undichte Gefässsystem mit **Flüssigkeit** in ausreichender Menge nachfüllen würde, anstatt ihm diese unwissend oder aus Angst vor der vollen Harnblase vorzuenthalten, könnten wir alle risikoärmer alpenfliegen. Jeder hätte dann eine bessere Chance, vom anderen Luftraumbenutzer ebenfalls rechtzeitig erkannt zu werden.

Zugegeben, das **Konzept der Nullhypoxie** ist noch nicht, wie FLARM, in aller Piloten Mund und hat auch noch keinen Niederschlag in den Vorschriften gefunden, obwohl es weder neuartig noch undurchführbar ist. Militärpiloten praktizieren es seit langem, der Autor erst seit 8 Jahren, nämlich konsequent mit dem EDS-D1 vom Start bis zur Landung. Sein subjektiver Eindruck seit dem ersten Alpenflug damit:

"Alle flugrelevanten Nervensystemfunktionen bleiben erhalten, seien es Aufmerksamkeit, Scharfsicht, Fluggenuss, Motivation, Neugier und Freude und es glänzen neu durch Abwesenheit die bisher unvermeidlich geglaubten Beeinträchtigungen des unmittelbaren Fluggenusses, wie Kopfschmerz, Müdigkeit und Gähnen, Unlust, Demotivation so wie die geringe Ausdauer etc. Verglichen mit der früheren Praxis getreu nach FAR 91.211" ist sein Fazit: Nicht die schweisstreibende Knüppelarbeit in den Felsrunsen, sondern der leichte Sauerstoffmangel über mehrere Alpenflugstunden waren effektiv für die Schlappeheit während und nach dem Fluge verantwortlich.

Symptomatik der andauernden leichten Hypoxie:

Alpenfliegen, auch unter Beachtung von FAR 91.211, ist ermüdend und rechtfertigt einen medizinischen Exkurs ins vernachlässigte Gebiet der zwar **leichten** doch **andauernden Hypoxie** im Fluge. Eine solche kommt zustande durch eine Kombination von **dünnere Luft über mehrere Flugstunden, verminderter O₂-Transportkapazität des Blutes** (durch Kohlenmonoxid vergiftetes Hämoglobin des Rauchers, Rekonvaleszenz, Blutspende, Durst), **vermehrtem O₂-Verbrauch** infolge Muskelarbeit (Stress, Schmerz, verkrampfter Knüppelarbeit, Kältezittern) und schliesslich jeglicher **schlechter Lungenfunktion** (oberflächliche, raschere Atmung des Uebergewichtigen, Raucherlunge, Medikamentenwirkung oder, weniger bekannt, durch das temporär gestörte Ventilations/Perfusions-Verhältnis durch die g-Kräfte beim Steilkreisen in Rotoren).

Die Symptomatik der leichten Hypoxie umfasst drei Bereiche welche die Beeinträchtigungen des Fluggenusses, den temporären Verlust von höheren Hirnrindenfunktionen, so wie die Verschlechterung der Sehfunktion betreffen.

1. Diverse Beeinträchtigungen des Fluggenusses:

Dazu gehört v.a. ein mit der Flugdauer zunehmendes und oftmals hartnäckiges **Stirnkopfschmerz** (garantiert manifest ab der sechsten Flugstunde), so wie

eine **abnormale Müdigkeit** (Fatigue) mit **Dauergähnen**, welche auch mit brutalen Stimulationen nicht wegzubringen ist. Ferner ist eine, nicht zum Fliegen passende, **Unlust und Demotivation** festzustellen. Es könnte sich hier um das fliegerische Pendant zur sog. **Akuten Bergkrankheit der Alpinisten** handeln. Gelegentlich wird eine **diskrete Mehratmung** beobachtet, die jedoch bei geringster Anstrengung in **manifeste Atemnot** umschlägt, im Segelflugzeug z. B. beim beim versuchten O₂-Flaschenöffnen erst im Fluge, beim Maske hervorzurufen oder beim Pinkeln, sofern dazu die Bauchpresse gebraucht wird. Notorisch ist auch die **unbemerkte Verblässung der Landschaftsfarben** welche erst der endlich applizierte Zusatz-Sauerstoff ins Bewusstsein bringt. Sodann herrscht **Mundtrockenheit**, die das notwendige Trinken im Fluge nur kurzzeitig aufzuheben vermag; ob diese auf die stressbedingt reduzierte Speichelsekretion oder auf eine echte Austrocknung der Schleimhäute infolge Mehratmung trockener Höhenluft zurückzuführen ist, ist unklar. Jeder Betroffene vermutet hingegen zu Recht, dass seine **häufiger volle Harnblase**, wie auch die **unvermeidlich kalten Füße** auf langen Alpenstreckenflügen mit Mehratmung, Kälte, Kreisbeschleunigungen und Stress zu tun haben müssen, wobei nur für Piloten 60+ das Prostata-Alibi in Anspruch nehmen dürfen.

Es entspringt einer allzu simplen Fliegerlogik, das Problem der **vollen Harnblase** im Fluge mit Dursten anstatt mit Vieltrinken und dafür einer tauglichen Wasserlösetechnik lösen zu wollen. Schuld an der gesteigerten Urinproduktion sind primär nicht die getrunkenen Flüssigkeitsmengen, sondern die Dehnungsrezeptoren in den Beckenvenen welche in der Liegestuhlposition und unter Kreisbeschleunigung ständig Blutfülle melden, so wie auch die kompensatorische Hyperventilation welche das periphere Gefäßbett einschränkt. Wer andererseits auf langen Alpenflügen wenig Harn produziert, und dies ist immer ein ominöses Zeichen, lagert wahrscheinlich, wie der akut Bergkranke, viel Wasser in seine Gewebe ein.

Weniger bekannt ist, dass die **kalten Füße**, selbst in gefütterten Stiefeln im Segelflugzeug, nicht einzig der fehlenden Sonneneinstrahlung und der Wärmeabstrahlung an die kaltbelüftete Rumpfnase anzulasten sind. Vielmehr sind die kalten Füße die unvermeidbare Folge einer **Zentralisation der Blutzirkulation** infolge des im Fluge **reduzierten zirkulierenden Plasmavolumens**; das Gefäßbett adaptiert sich an das verminderte, zirkulierende Blutvolumen, leider nicht umgekehrt. Zur Sicherstellung der Blutversorgung der lebenswichtigen Organe (Herz, Hirn, Lunge, Leber, Nieren) wird zuerst die Haut- und Muskeldurchblutung in den herzfernen Körperpartien so wie die Magen-Darmdurchblutung (Magenprobleme!) spargeschaltet. Zirkulierende Flüssigkeit geht nicht nur durch Schwitzen, vermehrte Urinproduktion, Befeuchtung der trockenen Höhenluft beim Durchströmen der Atemwege, sondern, weniger bekannt, vor allem durch die **hypoxische Wassereinlagerung in die Gewebe** (aus dem Kreislauf via poröse Zellmembranen) ins Zellinnere verloren. Das Höhen-Lungenoedem und das Höhen-Hirnoedem der Everest-Bergsteiger sind hier nur die lebensbedrohenden Spitzen des Eisbergs; geschwollene Beine oder ein aufgedunsenes Gesicht so

wie Augenbrennen (Hornhautödem) sind aber allemal anzutreffen bei Alpenfliegern, ja sogar schon bei Flugreisenden.

**"Hypoxia is not like a car without fuel;
not only it starves the engine,
but also wrecks the machinery"!**

Poröse Zellmembranen können mit einer lecken Schiffshaut verglichen werden. Um das eingedrungene Wasser wieder hinauszupumpen brauchen die Schiffspumpen Treibstoff, welcher dann für den Vortrieb des Schiffes fehlt. Auch die Zellwand benötigt zur Aufrechterhaltung ihrer Integrität die Natriumionen-Pumpe, da jedes Natriumion ja von 6 Wassermolekülen umgeben ist. Die dafür aufgewendete Energie fehlt dann der eigentlichen Zellfunktion, z.B. der Reizfortleitung im Nerven. Ohne Sauerstoff kann in der Zelle nur gerade 1/19 an energiereichen Molekülen gebildet werden, dafür fällt viel Milchsäure an.

Erwähnenswert ist noch, dass die **hypoxische Wassereinlagerung in die Gewebe** bereits bei leichtem Sauerstoffmangel beginnt und nicht bloss das Nervensystem betrifft und auch, dass sie um einiges schneller verursacht wird (2-6 Std.) als sie sich wieder resorbiert (24-48 Std.). Jedenfalls werden nach verspäteter (d.h. erst bei subjektiven Symptomen erfolgter) Sauerstoffnahme, die bereits "ersoffenen Hirnzellen" oder, etwas akademischer ausgedrückt, die "fluidisierten" Zellmembranen nicht unmittelbar entwässert; nicht einmal reiner Sauerstoff vermag die Normalisation zu beschleunigen. Bei einer so langwierigen Spontanheilung ist wirklich Prophylaxe nötig. Fluidisierte Nervenzellmembranen sind ebenfalls bei normaler, abendlicher Müdigkeit, Schlafmangel, Ueberanstrengung, Intoxikationen (Alkohol) und Verletzungen aller Art (Verbrennungstoxine bei Sonnenbrand!) anzutreffen und erklären so die notorisch "lange Leitung" des Nervensystems.

Der "hypoxic hardliner" sollte deshalb auch an den folgenden Flugtag denken, weil im Rahmen der **akuten Bergkrankheit** ein oftmals gestörter und damit kaum erholsamer Schlaf mit einer periodischen Schlafatmung beschrieben wird. Die hypoxische Wassereinlagerung kumuliert dann über Tage. Das im Volksmund bekannte **Absterben von Hirnzellen** im Zusammenhang mit Sauerstoffmangel kommt jedoch erst dann zustande, wenn durch die Hirnschwellung die Mikrozirkulation und die Diffusion vollständig gestoppt ist. Erkenntnisse aus medizinischen Everest-Expeditionen 1980 und 1983 betreffen u.a. hypoxische Spätschäden, des Gehirns, welche, nicht unerwartet, einem Geisteszustand nach einem Schädel-Hirn-Trauma oder einer Senilität ähnlich sind: Versimpelung des sprachlichen Ausdrucks, Wortfindungsstörungen, schlechtes Kurzzeitgedächtnis, geringe Belastbarkeit, verminderte Konzentrationsfähigkeit, geringe mentale Flexibilität, Abstumpfung des Gefühlslebens, verlangsamte Motorik, u.a.m.

Die Symptomatik der **akuten Bergkrankheit** erklärt sich vor allem durch den **erhöhten Hirndruck**,

welchen die progressive, oedematöse Hirnschwellung innerhalb des harten Schädels erzeugt. Wer, wie der Autor, etwas Mühe hat, plattgedrückte Hirnwindungen mit der sicheren Flugzeugführung in Verbindung zu bringen, mag sich auch dafür interessieren, dass ungefähr ein Viertel aller Berggänger früh (> 2'500 m) bergkrank wird, darunter auch junge, athletische, gut trainierte und völlig gesunde Individuen, nur weil deren Atmungssteigerung mit der Höhe (die hypoxische Ventilationsantwort) nicht genügt oder gar ausbleibt. Die flugtauglichen Piloten machen da keine Ausnahme.

Ein eindrückliches Beispiel aus früherer Flugpraxis, d.h. vor der Einführung des EDS: Nach einem zehneinhalbstündigen Alpenstreckenflug ab Münster, bei dem FAR 91.211 von der erreichten Flughöhe her nicht zur Anwendung kam, erwies sich der Autor nach der Landung als knapp zu schwach, um sich mit eigener Kraft aus dem Rumpboot der ASW-20 zu stemmen; damals war seine Deutung noch Fitnessmangel oder Unterzuckerung, heute wäre sie hypoxisch "fluidisierte" Muskelzellmembranen.

Logischerweise müssen da Parallelen zu den Beinmuskeln der Delta- und Gleitschirmstreckenflieger; bestehen, ungeachtet ob die zelluläre Hypoxie nun durch dünne Luft, Kälte oder Hyperventilation, oder alle drei zusammen, zustande gekommen ist. Der Autor hat im Spital eine fortgeschrittene Fallschirmspringerin mit einer schlimmen Knöchelfraktur behandelt, welche trotz beginnenden Symptomen der Hyperventilation (Ameisenlaufen, Tunnelblick) nicht auf ihren Sprung verzichten mochte...

Eigentlich wäre der Alpensegelflieger wegen der Atmungsbehinderung durch das straffe Gurtzeug und durch seinen raschen Höhengewinn und der stundenlangen Flugdauer vor reglementarischem Zusatz-Sauerstoff ein idealer Kandidat für die **akute Bergkrankheit**. Nachfragen in der Alpenfliegerszene zeigen aber, dass Vollbilder dieses Krankheitsbildes die Ausnahme sind, da dieses, im Gegensatz zu demjenigen der Alpinisten, meist **abortiv** und **subklinisch** verläuft. Bei fehlendem Fluggenuss beendet der betroffene Pilot nämlich seinen Flug vorzeitig und abends landet er sowieso auf einem Flachlandflugplatz, während der Alpinist in der Hütte übernachtet oder, falls er symptomatisch ist, ausgeflogen werden muss. Interessant an der akuten Bergkrankheit ist der Umstand, dass deren Symptome auf die bloße Sauerstoffgabe kaum mehr reagieren, während der Abstieg um wenige hundert Höhenmeter oder die Rekompensation in einem aufblasbaren Sack (CERTEC-bag) bereits nach Stunden Wirkung zeigen. Erklärt wird dies wiederum mit der entstandenen **hypoxischen Wassereinlagerung** in die Zellmembranen und das Zellinnere, wobei der Wasserfilm dann selbst zur Diffusionsbarriere für den Sauerstoff wird.

2. Temporärer Ausfall höherer Hirnrindenfunktionen:

"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)

"Delayed situation awareness", meint die späte Wahrnehmung speziell von **langsam** sich einstellenden 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 kann, sofern dieses ab einem hypoxischen Gehirn überhaupt noch abrufbar ist...

Typische Situationen im Fluge sind die **späte Wahrnehmung** der Abenddämmerung, einer Wetterverschlechterung, der stetig geschwundenen Arbeitshöhe, des Leistungsabfalls im weitesten Sinne (erzielte Schnittgeschwindigkeit), der fast leeren Tankanzeige oder einer Abdrift vom Idealkurs, aber auch die Fehleinschätzung des horizontalen oder vertikalen Wolkenabstandes, etc.

"Low level of suspicion", bezeichnet eine sich einstellende **Gutgläubigkeit**, dass es irgendwie schon noch gut kommt... oder den **ausbleibenden Verdacht**, dass in der vorliegenden Flugphase etwas nicht stimmen kann, sei es bei der Navigation, bei der eigenen Höhenatmung oder bei widersprüchlicher Info aus Funk und Instrumentenanzeigen.

"Target fixation" meint den Verzicht auf andere Optionen als der ursprünglich gewählten (z.B. den Zielflugplatz oder Wendepunkt anzufliegen), an dem auch dann noch eisern festgehalten wird, wenn die Vorbedingungen (z.B. die vorhandene Höhe oder der Treibstoffvorrat) längst nicht mehr gegeben sind. Dieser Begriff des sturen Zielblicks ist zwar aus der Stressforschung ausgeliehen, doch der zellulären Hypoxie liegen genau die gleichen hormonalen Ursachen (Nor-Adrenalin-Ausschüttung, Hirngefässverengung) zugrunde wie dem Stress und dem Schlafmangel.

Unter diesem Kapitel werden Entscheide getroffen und Handlungen im Fluge ausgeführt, welche später am Boden logisch nicht mehr nachvollziehbar sind. Es bestehen weitreichende Parallelen zum Alkoholgenuss, man muss für diese Erfahrung noch nicht in die UK! Zelluläre Hirnrinden-Hypoxie erklärt auch, warum in gewissen Flugphasen früher Erlerntes plötzlich nicht mehr abrufbar ist, warum Piloten in brenzlichen Situationen so furchtbar ideenarm sind oder kybernetische Denkmuster (Checkliste) anwenden müssen wo vorher Fähigkeiten und Intuition dominierten. Könnte nach einem Flugunfall zellulärer Sauerstoffmangel nachträglich laborchemisch noch nachgewiesen werden (analog Alkohol, Drogen oder Kohlenmonoxid), so würden die BFU-Untersucher die eigentliche Unfallursache anders formulieren. Der "Pilotenfehler" wäre dann einzig, seinem Gehirn nicht frühzeitig genug Zusatz-Sauerstoff offeriert zu haben.

"You feel great - until it's too late!"

Mit **"Insidious onset"** beschreibt der Anglophone den **heimtückischen Beginn der Hypoxie**, da das Urteilsvermögen bereits nicht mehr vorliegt wenn es benötigt wird; man kann demzufolge kaum selbst beurteilen ab wann denn Sauerstoff nun genommen

werden muss. Höher oben erkennt der Pilot seine cyanotischen (blauen) Fingernägel nicht mehr, da er bereits nicht mehr über das Farbsehen verfügt.

Der Begriff "Höhenrausch" ist zwar für eine stuporöse, wohlige Handlungslohnmacht für Höhen ab 18'000 ft (5486 m) reserviert. Eine gewisse **Sorglosigkeit oder Selbstzufriedenheit** ist aber bereits in niedrigeren Höhen auszumachen. Diese äussert sich etwa in oberflächlichem Kartenstudium ("allgemeine Richtung ok!"), in der optimistischen Interpretation der abgelesenen Instrumente ("diese Höhe wird schon reichen") oder auch dem unterlassenen Einholen von aktueller, flugrelevanter Info (eigentümliche psychische Hemmung, einen ATC-Controller um Info zu bitten) oder fehlender Ueberprüfung und Verarbeitung derselben, dort wo sie unverlangt vorliegt.

Dabei wähnt sich der Pilot subjektiv auf seinem "peak level of competence", obwohl dies objektiv, nach Analyse des Flugverlaufes, nicht immer bestätigt werden kann. Höhere Hirnrindenfunktionen, wie das Urteilsvermögen, das analytische Denken, das Ausführen von komplexen Handlungen (effizienter Flugstil, Flugtaktik an Wettbewerben, unter Einbezug der anderen Konkurrenten und die Verarbeitung von neuer Info) verabschieden sich nämlich schneller als einem lieb ist.

3. Sehen und Erkennen unter leichter Hypoxie:



Abb. 3: Querschnitt durch das menschliche Auge

Subjektiv wahrnehmbar ist zuerst nur ein **Augenbrennen** und es ist unklar, ob dieses mehr auf eine Hornhautentzündung nach **absorbiertem UV-Licht** (Keratitis solaris) oder auf eine Quellung der Hornhautschichten im Rahmen der **hypoxischen Wassereinlagerung** zurückzuführen ist. Objektiv wurde eine **verlangsamte Hell-Dunkel-Adaptation** und eine **Empfindlichkeit auf Blendung** festgestellt, was mit den oedematösen Muskelzellen der Iris (Blende) und einer verzögerten Regeneration des Sehpurpurs zu tun hat. Dazu gesellt sich eine **Verlangsamung der Objekterfassung, Scharfeinstellung und Objekterkennung** und eine temporäre **Verminderung der Sehschärfe**, was den Alpenfliegern jenseits der sechsten Flugstunde kaum je entgangen sein dürfte. Schliesslich ist noch eine unmerkliche **Einschränkung des Gesichtsfeldes** zu erwähnen, ohne gleich vom Tunnelblick zu sprechen, weil die Stäbchenzellen der peripheren Netzhaut die sauerstoffempfindlichsten Zellen des Nervensystems sind; diese wären so wichtig für das

schwarz-weiße Kontrastsehen, das periphere Bewegungssehen so wie das Nachtsehen. Für die Objekterkennung und das Farbsehen muss das bewegte Objekt aber zuerst auf dem gelben Fleck der Netzhaut abgebildet werden, wo die weniger empfindlichen Zapfenzellen dominieren. Zur Scharfeinstellung des Auges weisen die hypoxischen, oedematösen Augenmuskeln ausserhalb des Augapfels eine **"lange Leitung"** auf.

Wenn wir schon bei der Sehfunktion in der Höhe sind: Auch schon bemerkt, dass der Segelflieger, und zwar ausdrücklich auch der gut oxygenierte, die anderen weissen Segelflugzeuge am blauen Himmel hoch oben in der Welle entweder vergebens sucht oder erst im letzten Moment wahrnimmt? Dies ist für einmal keine weitere Folge des Sauerstoffmangels, sondern hat mit der Ruhofokus-Distanz des Auges ("empty field myopia") von ca. 6 m zu tun. Der Pilot darf nicht einfach den wolkenlosen Himmel anstarren um andere Flugzeuge zu sichten, sondern muss diesen systematisch "scannen". Hätten alle Segelflugzeuge eine dunkle Unterseite, so würde dies zweifellos deren Erfassung im peripheren Gesichtsfeld erleichtern.

Löst die Frühoxygenation, z.B. mit dem EDS-D1 all die aufgeführten Probleme?



Abbildung: EDS-D1

Logischerweise ja, denn die respiratorischen Kompensationsmechanismen mit ihren Nebenwirkungen müssen so nicht beansprucht werden. Grundsätzlich erlauben alle Sauerstoffgeräte die Frühoxygenation, aber nur das **EDS-D1 mit seiner sauerstoffsparenden "pulse demand technology"** eignet sich für deren konsequente Realisation. Altbekannt sind die **"diluter demand"-Anlagen** im offenen System, welche oft Luxusgemische anbieten, jedoch kein Recycling der Ausatemluft vorsehen. Auch die **"constant flow"-Anlagen** (Dauerströmer), haben ihre Daseinsberechtigung, auch wenn der erforderliche O₂-Flow ständig manuell der jeweiligen Flughöhe angepasst werden muss. Um einem anderen Nachteil derselben zu entgehen, dass während der Ausatmung 2/3 des Sauerstoffflusses verlorengehen, könnte man eine "Oxymizer"-Nasenkanüle (mit Reservoir) verwenden, welche den O₂-Fluss während der

Ausatmung auffängt; es braucht dazu aber einen eigenen Durchflussmesser (Rotameter) welcher nicht in l/min sondern gerade in ft. und Höhenmetern graduert ist. Bei beiden handelt es sich, trotz des hohen Sauerstoffverbrauches, um sichere Anlagen bis auf 33'000 ft (10'058 m). Eine volle 3.8 l Stahlflasche, 200 bar, reicht mit einer "diluter demand"-Anlage gerade mal 45 bis 150 min. je nach Flughöhe und Gewicht des Piloten.

Segelflieger haben für lange Alpenflüge ein logistisches Problem, weil nur ein Sauerstoffzylinder pro Sitzplatz mitgenommen werden kann. Der Autor kennt noch keinen Segelflieger, welcher die Frühoxygenation konsequent mit einer "diluter demand"-Anlage praktiziert hätte.

Seit 10 Jahren ist glücklicherweise das **EDS-D1** im Handel, welches mit seiner "pulse demand technology" bei einer Triggerschwelle D5 = 5'000 ft (1'524 m) pro 6-stündigen Alpenflug aus einer 3.0 l-Sauerstoffflasche nur etwa 40 bar verbraucht; dies entspricht 120 l auf Meereshöhe oder dem doppelten Volumen auf 5'500 m Höhe.

Die Begeisterung für diesen gut durchdachten handlichen und sparsamen "flow divider" ist beim Autor nach acht Flugsaisons immer noch ungebrochen, auch wenn immer noch keine detaillierten Feldstudien für den Einsatz im Alpensegelflug vorliegen. "FAA approved" sind nämlich nur die, mit der "pulse demand technology" abgegebenen, Sauerstoffmengen, welche den Jahrzehnte alten FAA-Vorschriften für "constant flow"-Geräte entsprechen, nämlich 1 l/min Sauerstoff pro 10'000 ft (3'048 m) Höhe.

Parallel zur weiteren Verbreitung des EDS-D1 sollte unbedingt die Infrastruktur zur einfachen Wiederbefüllung der Sauerstoffflaschen in Alpenfluglagern adaptiert werden oder die Lagerteilnehmer müssten vom bisherigen Konzept einer einzigen Sauerstoffflasche/Flz. abrücken. In Ergänzung zur Betriebsanleitung des EDS-D1 auf deutsch und französisch verdienen, gemäss den Erfahrungen des Autors, noch drei Punkte speziell hervorgehoben zu werden:

1. Nasenkanülen oder "full face mask" >18'000 ft?

Die FAA schreibt zwar vor, dass ab 18'000 ft (5'486 m) von den Nasenkanülen auf die Gesichtsmaske gewechselt werden muss. Traut sie vielleicht dem Piloten ab dieser Höhe plötzlich die vertiefte Nasenatmung nicht mehr zu? Leider ist das dem EDS-D1 beiliegende Modell einer "full face mask", in Spitälern übrigens ein billiges Massenprodukt, nicht gerade vom feinsten, da es undicht ist und zusammen mit dem sowieso grossen Masken-Totraum die **nötige Frühtriggerung des Sauerstoffpulses** verunmöglicht und diesen vor seiner Einatmung zuerst noch im Maskentotraum verdünnt. Mit den Nasenkanülen besteht dieser gewichtige Nachteil nicht. Entsprechende Klagen sind dem Autor von zwei Patagonienpiloten zugekommen, welche, um genügend Sauerstoff über die Maske zu erhalten, die Pulsdauer mit der Pos. F-20 verlängern mussten, was dann auf Kosten der Sauerstoffoekonomie ging. Nimmt hierzulande der erlaubte VFR-Höhenflug bei FL 195 sowieso ein Ende, so

empfiehlt sich bei FL 180 auf den riskanten Wechsel zur Maske zu verzichten, denn das EDS-D1 arbeitet mit den Nasenkanülen effizienter als mit irgendeiner Maske, aber nur bei garantiert tiefer Einatmung durch die Nase, wohlverstanden. Der Autor würde für grössere Höhen eine modifizierte dichte Fliegermaske **ü b e r** die belassenen und mit dem EDS-D1 verbundenen Nasenkanülen überziehen.

2. Druckschläuche im Cockpit auf die nötige Länge kürzen!

Die elektronische Limitierung der Pulsdauer entsprechend der Druckhöhe basiert auf einem O₂-flow von ca. 15 l/min in den Nasenkanülen. Allzu lange Druckleitungen, sei es vom Reduzierventil bis zum EDS-D1 oder von diesem zu den Nasenkanülen, bremsen aber den Durchfluss gemäss bekannten physikalischen Gesetzen (Poiseuille); das EDS-D1 kann elektronisch dafür nicht kompensieren, man muss über die manuell einstellbaren F-Positionen die Pulsdauer verlängern.

3. Spezielle Atmungstechnik erforderlich!

Für eine maximale Effizienz muss der zu Beginn jeder Einatmung abgegebene Sauerstoffpuls tief durch die Nase eingesogen werden. Dies erfordert eine willkürliche, unnatürlich tiefe Einatmung, welche bei Beschäftigung mit einem anderen Problem sofort zur automatischen, unbewussten und oberflächlichen Spontanatmung verkommt. Kein Mensch, also auch kein Pilot, kann mehr als drei Aktionen simultan ausführen; nach der Steuerführung und der willkürlich, tiefen Einatmung bleibt also nur noch Platz für eine weitere Handlung!

Wer also sein EDS-D1 kennt und es auf Stellung N oder D5 ab dem Start bis zur Landung verwendet, ob nun im Alpensegelflug, auf einer Alpenüberquerung im Ballon oder auf einem kommerziellen Alpenrundflug, ist nicht nur gefeit vor den geschilderten Beeinträchtigungen und Fehlentscheiden, sondern erfreut sich auch eines unmittelbaren Fluggenusses und muss sich mit seiner intakt gebliebenen Sehfähigkeit punkto Kollisionsvermeidung nichts vorwerfen.

Nun hört der Autor bereits das Raunen in der Fliegergemeinde. Solange "near misses" und "mid airs" manchmal nur Bruchteile von Sekunden auseinanderliegen hofft er, mit diesem Artikel, dem **Konzept der Nullhypoxie** weiterzuhelfen, via eigene Einsicht statt amtlicher Verordnung notabene.

Weiterführende Literatur:

1. 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:
[www.mhoxxygen.com /](http://www.mhoxxygen.com/) www.ontopag.ch
www.mountain-wave-project.de

Für Info-Austausch und feed back:

heini.schaffner@bluewin.ch / +41 79 240-7002