

Bis auf welche Flughöhe ist das EDS safe?

Autor: Dr. med. Heini Schaffner Alpenflieger AFG und APSV und alt Anästhesiologe FMH

1. Einleitung

Wellen-(Strecken-)fliegen findet zunehmend auch in der früher unproduktiven europäischen Winterpause der Segelflieger statt. Dabei werden die bei uns möglichen Maximalhöhen in Thermik deutlich und auch länger dauernd überflogen, was neue Restriktionen und leider auch zusätzliche Gefahren schafft (Luftraumgrenzen, Kälte, reduziertes Vne, Sauerstoffmangel, etc.), welche der Segelflieger aber mit profunder Sachkenntnis und einer minutiösen Flugvorbereitung meistern sollte. In diesem Artikel geht es einerseits um die anerkannten Prinzipien einer genügenden Sauerstoffversorgung und andererseits um die intelligente Verwendung des inzwischen weit verbreiteten "Electronic Delivery System's" EDS, in seinen diversen Ausführungen. Diese genialen «*oxygen-flow divider*» haben sich mittlerweile und glücklicherweise zum aktuellen Goldstandard für den Alpen-(Strecken-) Segelflug gemausert und dies nicht nur für hochgehende Wellenflüge, sondern auch für sämtliche mehrstündigen Alpenstreckenflüge in mittleren Höhen, d.h. unter- und oberhalb der aktuellen EASA-Höhenlimiten (10'000 ft ab max. 30 min) vor imperativem Sauerstoffzusatz.

Einige erinnern sich noch an die Anfänge, wo für Höhenflüge mit dem Segelflugzeug voluminöse, schwere doch generös Sauerstoff spendende «*diluter-demand*»-Anlagen aus alten Armeebeständen, zusammen mit dichtsitzenden A-14 Masken aus WWII), in den Segelflugzeugen eine Wiedergeburt erlebten. Würden diese je periodisch gewartet, geprüft und wegen ihres üppigen O₂-Bedarfs nicht bloss im "stand-by"-Modus verwendet, so wäre punkto genügende Sauerstoffversorgung bis auf FL 300 eigentlich nichts einzuwenden. Doch ihre Verwendung für tagelange Alpen-(Wellen-) Streckenflüge erwies sich nicht nur als unkomfortabel, sondern auch als unzweckmässig, v.a. wegen der meist etwas luxuriösen O₂-Zumischung zur angesogenen, dünnen Umgebungsluft (daher «*diluter demand*») bei gleichzeitiger Unmöglichkeit, den Sauerstoff aus der noch O₂-reichen Ausatemungsluft zu rezyklieren und dies bis heute noch bei limitierten Sauerstoffvorräten im Segelflugzeug. Daher oftmals deren unsinnige Verwendung, wie "oxygen-only when urgently needed" (d.h. nur grad zum medizinischen Überleben) oder mit der A-14-Maske im "stand-by"-Modus, oftmals bis zum erstmaligen Einnicken im Fluge. Dazu gehörte oft auch die äusserst liberale Befolgung der in Helvetien ab 1963 übernommenen und auch für den Segelflug verbindlich erklärten Höhenlimiten (FAR 91.211, 12'500 ft ab 30 min, immer ab 14'000 ft, doch erst ab 15'000 ft für Passagiere mit unbekannter med. *fitness*). Diese heute in USA noch geltenden amerikanischen Vorschriften mögen evtl. schnelle und vom Autopiloten gesteuerte Motorflugzeuge ohne Druckkabine, doch mit Kabinenheizung und viel "ram air" durch deren Kabinenlüftung, nicht aber für den wesentlich anspruchsvolleren, tagelangen Alpen- und Wellen-Streckenflug im kalten Segelflugzeug genügen.

Seither sind die Segelflugzeuge nicht nur zahlreicher und deutlich schneller unterwegs, doch mit dem dazu nötigen geringen Rumpfquerschnitt auch engräumiger geworden. Dabei noch genügend Platz für eine oder gar zwei grössere Sauerstoffflaschen zu finden, gehörte kaum je zu den primären Konstruktionszielen der Segelflugzeugbauer. Manchmal wird sogar der einzige, vorhandene O₂-Flaschentunnel zweckentfremdend für die Unterbringung des Mückenputzerantriebs missbraucht.

Zudem muss der früher grosszügig verfügbare Luftraum heute immer öfters mit weiteren Luftraumbenutzern (Gleitschirme, Delta's, Drohnen und anderem, motorisiertem Fluggerät, etc.) geteilt werden, was leider auch die Kollisionsgefahr erhöht, sintemal für diese anderen Flugsparten (noch) kein FLARM-Obligatorium besteht. Seither hat auch das Durchschnittsalter der Aeronauten mit kostspieligem Fluggerät zugenommen und diese sind infolge des z.T. intensiven "opposing traffic" in wechselnden Höhen (z.B. am "parcours du combattant" im Sommer) und den vermehrten Erfordernissen der Flugsicherung optisch, akustisch, mental und konditionell auch stärker gefordert, wobei ihnen die moderne Bordelektronik zwar hilft, wenn auch auf absorbierende und z.T. überfordernde Weise.

Daraus leitet sich eigentlich unschwer ab, dass der zwar etwas kostenträchtige Zusatz-Sauerstoff im Fluge nicht nur das blosse medizinische Überleben beim Höhenflug ermöglichen soll, sondern auch den nötigen Sauerstoff-Frühbedarf für die bestmögliche und v.a. auch anhaltende Aufmerksamkeit, Denk- und Sehfunktion und den unverzichtbaren Fluggenuss abdecken soll. Der Früheinsatz des EDS mit setting N oder D5 ist dabei ebenso förderlich wie seine ununterbrochene Verwendung während der gesamten Flugdauer, zusammen mit einem den alters- und allf.

maskenbedingten Einschränkungen angepassten F-setting und auch einer geeigneten und erlernbaren Atmungstechnik.

Anstatt sich hier in Berechnungen aus der Atmosphärenphysik zu erschöpfen, seien hier die wichtigsten flugmedizinischen Prinzipien des optimalen Sauerstofftransportes bis in die hintersten Hirn- und Sehzellen nochmals in Erinnerung gerufen:

Pressure altitude (ft) / (m)	Atmospheric pressure (mmHg)	Ambient O ₂ pressure 21%	LungAlveolar O ₂ pressure
0 / 0	760	159	103
5,000 / 1'524	632	133	81
10,000 / 3'048	523	110	61
12,000 / 3'658	483	101	54
13,000 / 3'962	465	97	51
14,000 / 4'267	447	94	48
15,000 / 4'572	429	90	45
20,000 / 6'096	350	73	34
25,000 / 7'620	282	59	30

In der Flugmedizin werden die physiologischen Drucke in mm Hg = torr ausgedrückt: 760 torr = 1'013 mbar. Der auf Meereshöhe eingeatmete O₂-Teildruck von 159 torr verringert sich bis zu den Lungenbläschen auf noch 103 torr, da er mit 40 torr CO₂ und 47 torr Wasserdampf vermischt wird. Auf 10'000 ft herrscht bereits ein >40% Sauerstoffmangel, auf 15'000 ft einer von >50%. Diese behördliche Hypoxietoleranz kontrastiert erheblich mit der Nulltoleranz für Alkohol, Drogen und Fliegen ohne gültige Lizenz...! Auf 10'000 ft fällt die O₂-sättigung bereits auf 88 % ab (Norm 96% für junge, gesunde und fitte Piloten)

Je dünner die Luft, desto geringer der O₂-Teildruck, um die O₂-Moleküle in das Hämoglobin der roten Blutkörperchen (BK) zu pressen, damit diese in genügender Menge bis in die Augen und ins Hirn transportiert werden. Bei sämtlichen älteren Aeronauten ist die Lungenfunktion (Grösse und Zustand der Luft-Blut-Austauschfläche) ausnahmslos eingeschränkt und sie benötigen daher mehr Zusatz-O₂ für eine vergleichbare Körpermasse und Tätigkeit, auch dann, wenn sich die "alten Adler" noch wie mit 20, fit und fluggeil wähnen. Jede tiefe Einatmung mit Atemanhalten für eine Sekunde vor dem passiven Ausatmen durch den Mund mit Lippenpresse, verbessert geringfügig die prozentuale O₂-Beladung (O₂-Sättigung der roten BK's in % ausgedrückt). Es ist leider nicht möglich, auch nicht nach Voratmung mit reinem Sauerstoff, länger als für 3 min reichende Lungen-O₂-Reserven anzulegen. Deshalb sind die früher gelegentlich praktizierten O₂-Duschen oder der nur phasenweise Einsatz des EDS für die anhaltende volle Aufmerksamkeit nicht zielführend. Kein Flachlandpilot kann während des Fluges von irgendeiner respiratorischen Akklimation an die Flughöhe (automatische und bleibende Mehratmung) profitieren, weil eine solche typischerweise mit 2-3 Tagen hypoxischer Atmungsdepression (!) beginnt und erst nach 21 Tagen, ständig auf Akklimationshöhe, einen nutzbringenden Plafond erreicht.

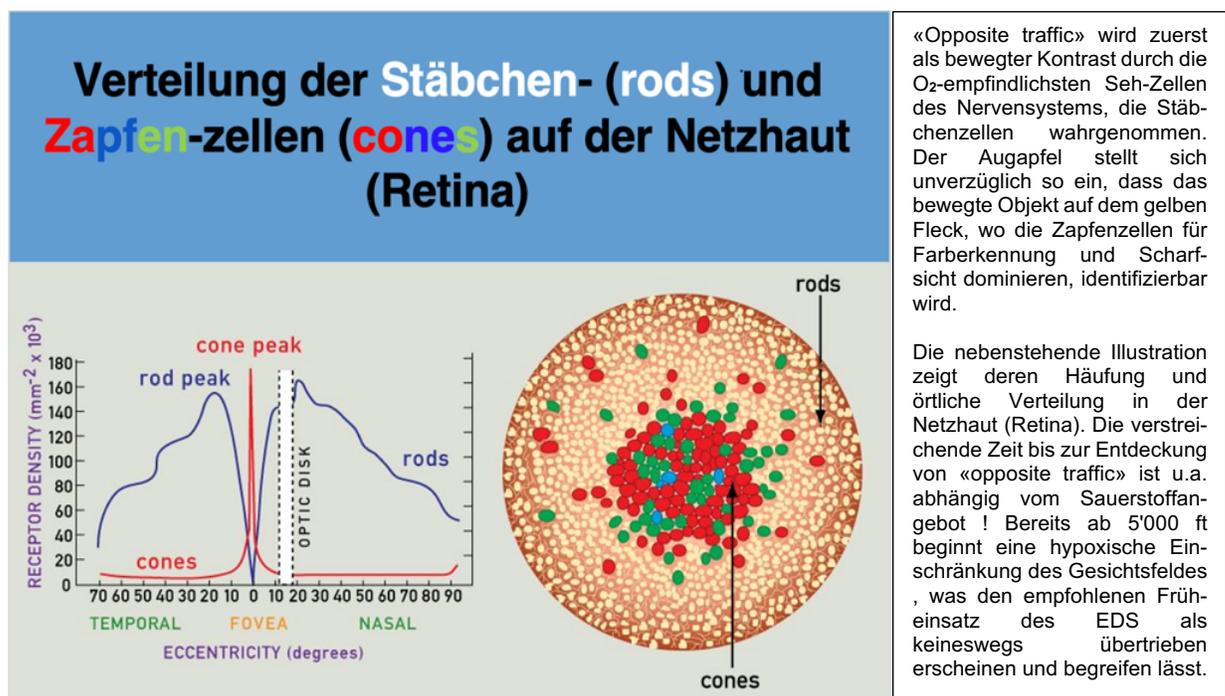
Ab pulsoxymetrisch erfassten O₂-Sättigungen unterhalb 90 % (zutreffende Werte vorausgesetzt) beginnt progressiv der Anteil des anaeroben (d.h. sauerstofflosen) Hirn- und Seh-Stoffwechsels, was zu einer ungenügenden Wiederaufbereitung des energetischen Stoffwechselproduktes ATP (biochem. "Zellakku", des eigentlichen Antriebes für sämtliche Denkvorgänge, Muskelaktionen und regenerativen Prozesse) führt. Ganz ohne Sauerstoffzufuhr würde die noch mögliche ATP-Regeneration auf 5.3 % des voll aeroben Stoffwechsels abfallen. Zugegebenermassen existieren sogar im täglichen irdischen Leben oftmals unvermeidbare Episoden von momentan ungenügender ATP-Verfügbarkeit (bei Anstrengungen, Sport, Stress, Müdigkeit, Unfällen und Krankheiten, u.a.m.), wogegen sich die hypobare Hypoxie beim Höhenflug prophylaktisch, d.h. mittels frühem Zusatz-O₂ zuverlässig vermeiden lässt. Anlässlich eines zufällig beobachteten und chronometrierten Zirkulationsstillstandes (horizontale Linie im EKG) auf der Intensivstation, was ja dem sofortigen und totalen Zufuhrstopp von Sauerstoff zu den Hirnzellen gleichkommt, blieb der operierte Herzpatient noch für 11 Sekunden bei Bewusstsein, bevor er seine Augen verdrehte. Dies als Beweis, dass die nur geringen ATP-Reserven in den peripheren Hirnzellen im Nu aufgebraucht sind. Man vergleiche nun diese Beobachtung mit dem anerkannt hohen ATP-Bedarf für die erforderlichen, optischen, geistigen und muskulären Leistungen im Alpen-(Strecken-) Segelflug, wo selbst ein geringer Sauerstoffmangel bereits zu subjektiv unmerklicher neurologischer Minderleistung führt, welche allein, d.h. ohne Unfall/Kollisionsfolge, zugegebenermassen nicht fatal enden muss. Zudem ist zu beachten, dass die vermehrte Muskelarbeit (beim Frieren, bei Anspannungen infolge Stress und Aengsten, Luftraumabsuchung, beim Kreisen mit Anderen, bei verkrampfter Knüppel- und Pedalenbetätigung bei starken Turbulenzen) effektiv dem Hirn den Sauerstoff stiehlt, wenn auch auf indirekte Weise. Das O₂-Angebot zu den Muskeln wird dabei über Gebühr ausgeschöpft, sodass bei der folgenden Lungenpassage die dünne Luft allein das übermässig entsättigte (<75 %) Blut nicht mehr voll mit O₂ aufladen kann.

Der Autor hält übrigens rein nichts von der ihm geschilderten Praxis gewisser Höhenflieger, mit Hilfe eines billigen Fingerclip-Pulsoxymeters im Fluge den spätest möglichen O₂-Einsatz bestimmen zu wollen. Nicht nur hat jedes Fingerclip POM einen systemischen Anzeigefehler von ca. 2%, sondern

zeigt leider allzu oft auch **Falschmessungen** an, wegen Verrutschens des Sensors bei Fingerbewegungen, so wie solche infolge eindringendem Streulicht oder kalten, pulslosen Fingern. Bei momentanem Messunvermögen bleibt dann einfach der letztgemessene Wert weiter angezeigt, hingegen nicht das momentane Messunvermögen. Auch die O₂-Sättigungsmessung von Apple-watches und Garmin-Uhren am Handgelenk des Segelfliegers sind kaum lufttüchtig, v.a. wegen ihres bewegungs- und streulichtheiklen, reflektiven Messprinzips, den allzuhäufigen «*Unsuccessful measurement*»-Anzeigen und ihren oft unrealistisch guten O₂-Sättigungswerten bereits daheim unter Ruhebedingungen.

Kälte und Hyperventilation (bei Stress, Aengsten) stellen nämlich sämtliche kleinen (Lungen- und Hirn-) Blutgefäße eng und geben zudem den Sauerstoff am Wirkort schlecht ab. Die Stäbchenzellen der peripheren Netzhaut (Retina) sind bekanntlich die O₂-konsumierendsten Zellen des gesamten Nervensystems und deshalb auch am empfindlichsten bereits auf leichten Sauerstoffmangel. Deshalb schränken diese bereits ab 5'000 ft das periphere Sehvermögen für Kontraste und Bewegungen, subjektiv unmerklich ein. Dabei ist doch die raschestmögliche Erkennung und Identifikation der anderen Luftraumbenützer u.U. lebenswichtig. Nach der Lichtgeschwindigkeit (300'000 km/s) der optischen Luftraumüberwachung (Bewegungen und Kontraste im Gesichtsfeld, Haubenblitzer) und innerhalb der Antikollisions-Elektronik (FLARM, TICAS, ADS-B, etc), braucht es jedenfalls noch ein **speditives Nervensystem** (normal nur 0.5-2 m/s für vegetative, 10-30 m/s für sensorische und 60-120 m/s für motorische Nervenfasern), um das Erblickte (die nahende Erdkruste, bewegte Kontraste) und nach Fokussierung Erkannte (aha, Flugzeug auf Kollisionskurs) noch rechtzeitig in geeignete Ausweichmanöver umzusetzen. Auf dieser entscheidenden Endgeraden der Kollisionsverhütung darf keinesfalls gesündigt werden.

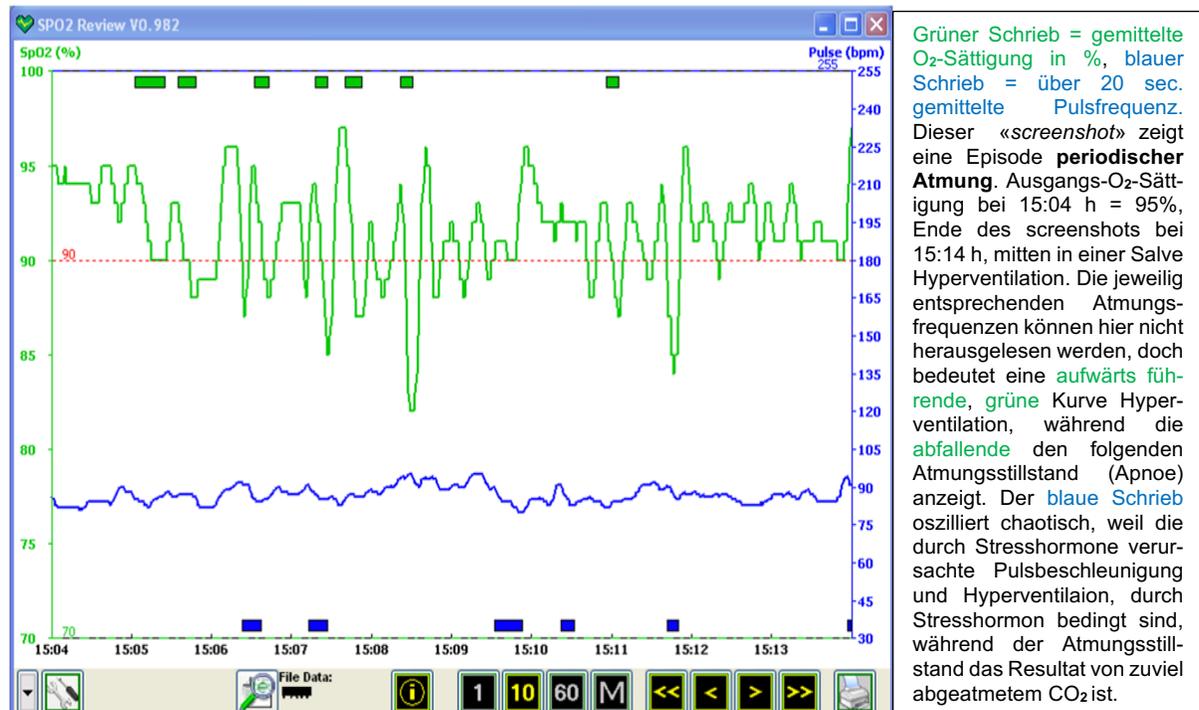
Bereits eine gering verminderte ATP-Verfügbarkeit im Auge **verlangsamt** unmittelbar sämtliche wichtigen Sehfunktionen, wie Wechsel der Blickrichtung, Scharfabbildung (Akkommodation, Fokussierung) und Hell-Dunkel Adaptation via Pupillenweite, so wie die Regeneration des Sehpurpurs nach Beanspruchung oder gar Blendung. Wichtig auch die rasche Uebertragung vom Auge zur Sehrinde im Hinterkopf, so wie diejenige im Hirn für sinnmachende Denkvorgänge für das geeignetste, muskulär auszuführende Ausweichmanöver.



Im Höhenband der sogenannten milden hypobaren Hypoxie (5'000 bis ca. 15'000 ft) existiert leider keine automatisch-kompensatorische Atmungssteigerung mit zunehmender Höhe, hingegen bei ca. 40-50 %, der aeronautischen Population (den sog. «*bad acclimatizers*») eine **mit der Flugdauer zunehmende, hypoxische Wasser-Einlagerung/Retention** ins Nervensystem und etwas weniger gefährlich überall im Körper. Der dabei entstandene Wasserfilm brems dann als zusätzliches Diffusionshindernis den O₂-Transport in die Nervenzellen. Dieser Umstand ist auch die Ursache der, zwar unmerklich ab 8'000 ft beginnenden, sog. **akuten Berg- oder Höhenkrankheit**, mit ihrem Kardinalsymptomen **Stirnkopfweg** und Müdigkeit/Unlust, so wie ihren gefürchteten, meist fatalen Endstadien Lungen- und Hirnoedem. Letztere findet man allerdings nur bei tagelang höhenexponierten

Alpinisten. Die ebenso davon betroffenen, leicht hypoxischen Alpen- und Wellen-Segelflieger würden wenigstens mit Stirnkopfweg im Anfangsstadium derselben verharren, da sie bis zum späten Abend ja meist wieder irgendwie gelandet sind. Diese hypoxische Wassereinlagerung ist die Folge des ATP-Mangels der sog. Natrium-Ionenpumpe innerhalb der Nervenzellwand, deren Situation am besten mit derjenigen einer Schiffspumpe ohne Diesel in einem lecken Schiff verglichen werden kann, wobei in den Nervenzellen jedes nicht mehr herauspumpbare Natriumion (Na^+) von mehreren H_2O -Hüllen umgeben ist. Diese hypoxische Wassereinlagerung äussert sich spätestens ab der zweiten Flugstunde mit Stirnkopfweg, leichten Sehstörungen, Müdigkeit, Motivationsverlust, Unaufmerksamkeit und evtl. schlechten Entscheidungen, u.a.m. des so zunehmend viskös funktionierenden Nervensystems. Dessen vollständige H_2O -Resorption unter retablierten Normalbedingungen kann u.U. bis zu 24-36 Std. dauern und so, was den Fluggenuss, die Müdigkeit und die Motivation betrifft, sogar noch den folgenden Wellen-Strecken-Flugtag verderben.

Wenig bekannt ist, dass jeder bisher pulsoxygraphisch monitorisierte Segelflieger ab 8'000 ft (egal, ob mit oder ohne Zusatz- O_2 durch das EDS), seine bisher regelmässige Atmung zugunsten von



mehrminütigen **Episoden sog. periodischer Atmung** aufgibt. Diese periodische Atmung, ist in der Medizin als ominöser Cheyne-Stokes'scher Atmungstyp bekannt, weil er sonst meist bei Hirnverletzungen, Hirntumoren und markanter Herzinsuffizienz beobachtet wird. Er besteht aus ca. halbminütigen crescendo-decrescendo-Salven von Hyperventilation (mit O_2 -Sättigungsanstieg), gefolgt von Atmungspausen von bis zu 30-40 s Dauer und mit einem entsprechenden O_2 -Sättigungsabfall von bis zu 12 %. Dies als weiterer Beweis, dass der milde O_2 -Mangel nicht erst ab irgendeiner reglementarischen Höhenlimite beginnt.

Meist geht die im Fluge subjektiv als Anstrengungs-Atemnot wahrgenommene Mehratmung bei milder Hypoxie aber auf das Konto von vermehrter Muskelarbeit (Frieren, Hervorzurren von Kartenmaterial, Mühe beim versuchten Aufdrehen der O_2 -Flasche erst im Fluge, verkrampfte Knüppel- und Pedalenbetätigung in turbulenten Rotoren, muskuläre Anspannung bei akutem Flugstress, etc.), da die automatische Atmungssteuerung hauptsächlich über die dem Hirn rückgemeldete Muskelarbeit und das dabei vermehrt anfallende CO_2 erfolgt, nicht primär über den abfallenden O_2 -Teildruck. Milde Hypoxie allein, d.h. ohne gleichzeitige Muskelarbeit, ist schmerzlos, unmerklich und deshalb heimtückisch bis etwa zum später daraus entstehenden Stirnkopfweg und führt ohne gleichzeitige Muskelanstrengung auch nicht zu früher Atemnot. Nur eine akute, markante Hypoxie v.a. oberhalb 20'000 ft könnte ein Noradrenalin-Hormongewitter mit Herzpochen, Herzrasen und unüberhörbarer Notfall-Mehratmung (massive Hyperventilation) auslösen, z.B. bei plötzlichem Druckabfall im airliner auf Reisehöhe oder bei Pannen aller Art mit dem EDS in sehr dünner Höhenluft.

Es sei noch daran erinnert, dass die noch **verfügbare Handlungszeit** der gerne angeführten "time of useful consciousness" (TUC), auch "effective performance time" (EPT) benannt, für den

Wellen-Segelflug, v.a. oberhalb 20'000 ft, **relativiert werden muss**. Diese TUC wurde erstmals vor über 75 Jahren an jungen, fitten Militärfliegern in kleinräumigen, zimmerwarmen Unterdruckkammern (UK) ermittelt. Um überhaupt bei vollem Bewusstsein auf die diversen Ausgangshöhen in der Unterdruckkammer zu gelangen, benützten die Probanden die gleichen "on demand"-Regler mit A-14-Fliegermasken wie die in der UK anwesenden Fliegerärzte, welche sich meist üppig O₂ zuregelten. Da nur etwa 5% des offerierten Sauerstoffes durch die ruhig sitzenden Untersucher und Probanden verbraucht wurde, war deren Ausatemungsluft noch reichlich sauerstoffhaltig (bis zu 95 % bei reiner O₂-Einatmung), was auf den simulierten Höhen oberhalb 20'000 ft, die dünne Atmosphäre in der UK wahrscheinlich mit Sauerstoff anreicherte, etwas mehr als der entsprechenden Druckhöhe entspricht Selbstredend verbieten die derart komfortable Messbedingungen eine unkritische Uebernahme der damaligen TUC/EPT für den heutigen, wesentlich anspruchsvolleren Alpensegelflug. Es sind v.a. die in grösseren Höhen rasch schwindenden O₂-Lungenreserven, welche im wesentlichen die TUC/EPT bestimmen, v.a. der Umstand, dass nach dem befohlenen Weglegen der Fliegermaske der in den Lungen noch überproportional enthaltene Sauerstoff sofort via Bronchien, Lufröhre und Mund entweicht, anstatt verstoffwechselt wird, weil O₂ ja immer entlang seines aktuellen Teildruckgefälles fliesst. Ein eigens im Fluge überlebter O₂-Zwischenfall mit dem EDS auf 25'000 ft hinterlässt die Ueberzeugung, dass wenigstens die Hälfte der TUC/EPT bereits vor der Entdeckung der O₂-Panne oder der eigenen Hypoxie der Vergangenheit angehört hat.

An einen Batteriewechsel in eisiger Höhe (wegen unsinnigem Ausreizenwollen der Batterien), dazu mit eiskalten Fingern oder gar an das rasche Wiederauffinden des ausgerissenen und weggezischten O₂-Zufuhrschläuchleins zum EDS soll keine Erfolgserwartung unter Verweis auf die TUC/EPT geknüpft werden! Wer die testbesten AEROCELL-Batterien bei LIDL für weniger als 50 Rappen pro Stück erwerben kann, darf seinem EDS getrost mehrere prophylaktische Batteriewechsel pro Flugsaison gönnen; die dabei ausgewechselten AA-Batterien finden in einer Taschenlampe ein gefahrloseres Weiterleben. Im Gegensatz zum irdischen Verbleiben oder bei Abfall des Kabinendruckes (aus max. 8'000 ft) in einem airliner, kommt einem im hochfliegenden Segelflugzeug von nirgends her Ueberlebenshilfe, nicht mal im Doppelsitzer ! Deshalb soll bei Flügen über 20'000 ft unbedingt noch ein völlig unabhängiges Notsystem mitgeführt werden und sofort greifbar sein. Der Autor empfiehlt das OXYfit 18 mit bereits eingeschraubter O₂-Druckpatrone und angesteckter Kleinmaske, welches dosierbar entweder 1 l/min während 18 min oder 2 l/min O₂ kontinuierlich während 9 min abgibt und problemlos mit dem Zufuhrschlauch zu den bleibenden Nasenkanülen verbunden werden kann. Diese Kleinmenge würde für den sofort eingeleiteten Notabstieg auf eine wenigstens überlebbare Höhe, z.B. bis FL 180, genügen, welche rechnerisch aus FL 250 bei -5m/s über 7 min dauern würde. Think !

Altitude (measured barometrically)	TUC (normal ascent)	TUC (rapid decompression)
FL180 (18,000 ft; 5,500 m)	20 to 30 minutes	10 to 15 minutes
FL220 (22,000 ft; 6,700 m)	10 minutes	5 minutes
FL250 (25,000 ft; 7,600 m)	3 to 5 minutes	1.5 to 3.5 minutes
FL280 (28,000 ft; 8,550 m)	2.5 to 3 minutes	1.25 to 1.5 minutes
FL300 (30,000 ft; 9,150 m)	1 to 2 minutes	30 to 60 seconds
FL350 (35,000 ft; 10,650 m)	30 secs to 1 minute	15 to 30 seconds
FL400 (40,000 ft; 12,200 m)	15 to 20 seconds	7 to 10 seconds
FL430 (43,000 ft; 13,100 m)	9 to 12 seconds	5 seconds
FL500 (50,000 ft; 15,250 m)	9 to 12 seconds	5 seconds



2. Der intelligente Gebrauch des EDS

Der aktuelle Goldstandard für den Alpenstreckenflug ist das «*Electronic Delivery System*» EDS mit seinem neuartigen O₂-Applikationsprinzip (*pulse demand*), wobei dieses nicht einfach ein idiotensicheres "plug and breathe" Gerät ist, sondern das gründliche Studium seines neuesten und endlich ausführlichen, doch z.Z. nur auf Englisch verfassten, 31-seitigen [EDS O2D1-2G and O2D2-2G Operation Manual rev.-1.pdf](#) auf (<https://www.mhooxygen.com/docs/>) voraussetzt. Dieses kann hier aus Platzgründen weder übersetzt, noch auszugsweise zitiert werden.

Vier beachtenswerte Faktoren bestimmen beim EDS die pro Minute abgegebene **Sauerstoffmengen** (in scc oder ml **vor** Höhenexpansion), nämlich Durchfluss (flow in l/min), O₂-Pulsdauer (ms) und Atmungsfrequenz (AZ/min), unter allf. Abzug von Lecks in dessen Verschlauchung.

Erfahrungsgemäss wird der **Optimierung des O₂-Durchflusses** nicht überall die nötige Beachtung geschenkt. In den dünnlumigen PU-Schläuchlein 5/2.5 mm und deren oftmals unnötigen Ueberlängen verlangsamt sich der initiale Durchfluss ab dem Druckminderer XCR. Beim EDS-O2D2 2G, dasjenige für beide Piloten im Doppelsitzer, empfiehlt sich deshalb, die grösserlumigen PU-Schläuche 6/4 mm (anstelle der beiliegenden 5/2.5 mm) zwischen dem Druckminderer XCR und dem EDS zu verwenden. Zwar erfordert dies den eigenen Austausch der schwarzen und roten Steckkupplung, doch resultiert dadurch rechnerisch ein 6.5 mal weniger gebremster Durchfluss (Gesetz von Hagen-Poiseuille), was beiden Piloten bei simultaner Einatmung wenigstens den nominalen Durchfluss garantiert. Werden zwei individuelle EDS-O2D1 aus der gleichen O₂-Flasche versorgt, so soll eine längere 6/4 mm PU-Verbindung, wenigstens bis zum entfernt befestigten Verzweigungsstück geführt werden und von dort aus auf **gleich lange** Abzweigungen zu jedem EDS geachtet werden. Dies, damit das näher am Verzweigungsstück liegende EDS dem weiter davon entfernten nicht den Durchfluss mindert (alles schon erlebt und bewiesen). Sogar der Sauerstoff zieht den Weg des geringsten Widerstandes vor...! Selbstredend sind sämtliche Schlauchverbindungen, auch diejenige zu den Nasenkanülen, auf ihre **kürzest mögliche Länge** zu beschränken. Das EDS in einer Sichttasche am Schultergurt hätte den praktischen Vorteil von kürzesten Schlauchverbindungen und allfällige Alarme und Einstellungen wären in Augen- und Ohrnähe, so wie in Handreichweite.

Der nur einstufige, simple und deshalb erschwingliche **Druckminderer XCR**, welcher mit dem EDS geliefert wird, vermag leider bei hohen O₂-Flaschen-Restdrücken von 200 bar nicht bis auf den erwünschten nominalen, statischen Sekundärdruck von 1.5 bis 1.7 bar (bei Einatmung auf 1.0-1.2 bar abfallend) zu reduzieren. Damit wird auch die nominale Durchflussrate von 15-18 l/min überschritten, was pilotenseitig zwar völlig unbedenklich ist, doch den O₂-Verbrauch unnötig erhöht und im Extremfall zum pneumatischen Aufdrücken (im Gegensatz zur elektrisch induzierten Kurzöffnung des Magnetventils im EDS führen könnte. Deshalb ja die Hörprobe auf ein allf. feines Dauerzischen des ans Ohr gehaltenen EDS zur Funktionskontrolle, besonders nach dem vorsichtigen Aufdrehen einer vollen O₂-Flasche vor dem Start. Ein undichtes Magnetventil würde die frühzeitige Pulsauslösung verunmöglichen, da der nötige Einatmungs-Unterdruck zur Pulsauslösung bereits bei geringem Dauerflow nicht mehr aufgebracht werden kann.

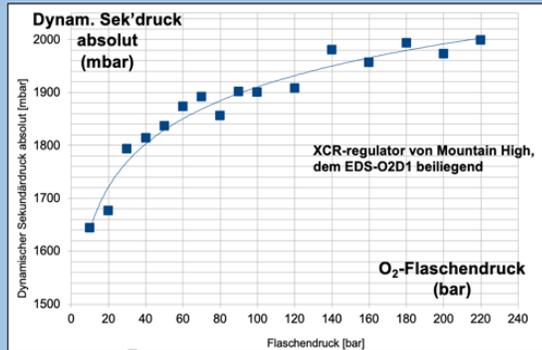
Fällt hingegen der Flaschen-Restdruck unterhalb 50 bar ab, so vermindert sich progressiv auch der noch erzielbare, dynamische Sekundärdruck bis unter den minimalen Wert von 1.0 bar, was den Durchfluss (als Berechnungsgrundlage für die benötigte Pulsdauer) drosselt. Das EDS zischt dann zwar hörbar schwächer weiter, doch nehmen die dabei abgegebenen O₂-Mengen stetig ab, bis sie für die jeweilige Flughöhe nicht mehr genügen. Verlängert man mit den settings R/M (oder neu F4) die Pulsdauer kompensatorisch auf die maximal möglichen 500 ms, so könnte das abendliche Abgleiten aus der Welle aus 20'000 ft ungemütlich werden, da sich so die O₂-Flasche rascher ganz entleert.

Sowieso ist Sauerstoff zum Atmen und nicht zum Kostensparen gedacht, wobei auch mal am gängigen Prinzip der oftmals nur einzigen O₂-Flasche pro Flugzeug gerüttelt werden darf. Vor mehreren Jahren trat in der Schweiz das Problem auf, dass die im Flaschen-Anschluss neu verbauten Restdruckventile, v.a. bei Mietflaschen, durch den XCR-Druckminderer aufgestossen wurden und auch dessen anstossender Partikelfilter den als handdicht geplanten Ueberwurfdichtring undicht werden liessen. Mit einem Verlängerungsstück und Modifikationen des XCR-Druckminderers ist dieses Problem jedoch zwischenzeitlich behoben worden. Um vom Restdruck der O₂-Vorratsflasche ohne flow-Verlust profitieren zu können, wäre ein **zweistufiger Druckminderer** nötig, der aber mehr kostet und auch etwas voluminöser ausfällt. Bisher hatte sich aber bewährt, den Flaschen-Restdruck in einer ersten Stufe (mit einem an PU-Schläuche adaptierten, gängigen industriellen Druckminderer) auf 5-6 bar zu reduzieren und vor (je-)dem EDS noch den sog. **«inline reducing regulator-equalizer»** des EDS-Herstellers M&H vorzuschalten, welcher die 5-6 bar noch auf den erwünschten Sekundärdruck von 1.5 bis 1.7 bar statisch, entsprechend 1.0 bis 1.2 bar dynamisch reduziert. Derart bleibt der jetzt tertiäre Druck länger erhalten, was die volle Ausnützung von O₂-Flaschen mit einem Restdruck < 50 bar ohne Flowminderung ermöglichen sollte. Somit hängt die max. noch mögliche O₂-Abgabe des EDS (Stellung R/M oder neu F4) hauptsächlich von der Art und Qualität des verwendeten Druckminderer und den verwendeten Innendurchmessern im PU-Zufuhrschlauch ab, nicht vom EDS selbst.

- **Dynam. Sekundärdruck (absolut) bei stat. Luftdruck von 975 mbar**
- **Nomin. dynam. Sek'druck = 1000 mbar, wenn stat. Sek'druck 1400 mbar**
- **100 % des nomin. dynam. Sek'druckes > 90 bar Flaschenrestdruck !**
- **90 % des nomin. dynam. Sek'druckes > 70 bar Flaschenrestdruck !**
- **80 % des nomin. dynam. Sek'druckes > 30 bar Flaschenrestdruck !**



zhaw
School of Engineering
ZAV Zentrum für Aviatik



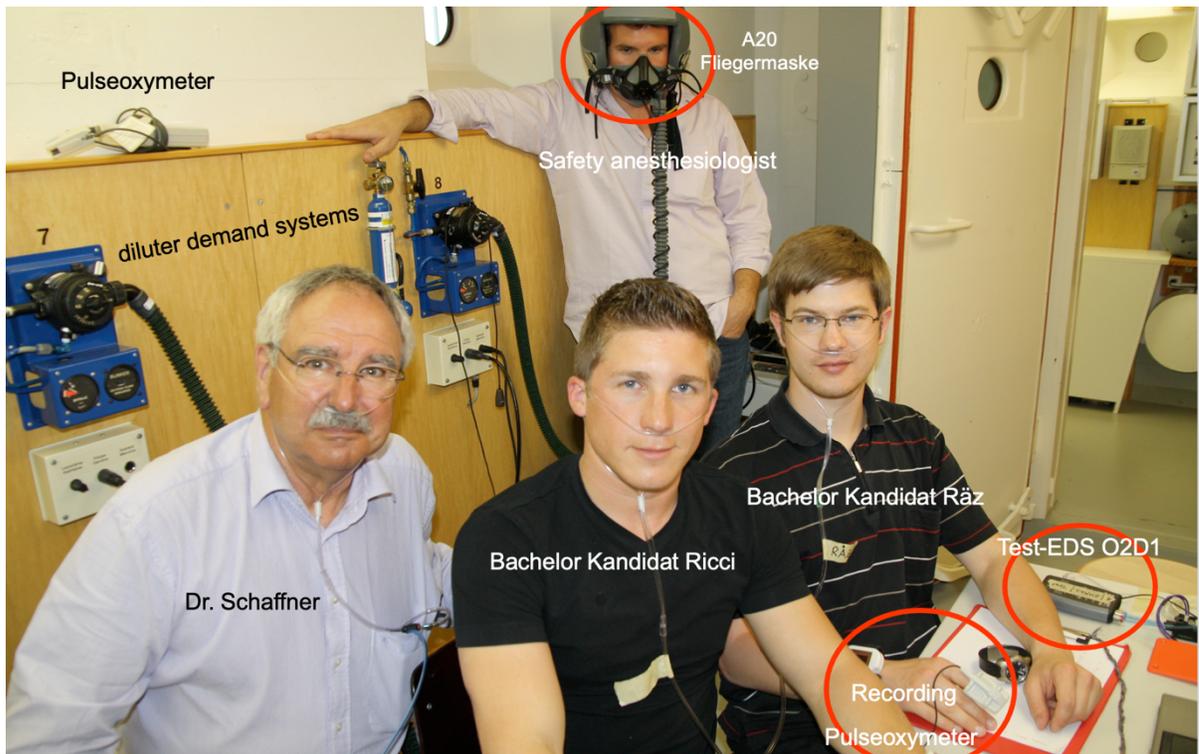
Nebenan war eine 1.0 l O₂-Flasche mit 200 bar gefüllt und wurde über einen XCR-Druckminderer stufenweise entleert. Dabei wurde der **dynamische** Sekundärdruck (derjenige **während** der Pulsabgabe) zuerst alle -20, dann alle -10 bar Druckabfall in der Flasche gemessen.

Achtung: Der dynamische Sekundärdruck entlang der Y-Achse ist der **absolute Druck**, d.h. er **schließt auch den während der Messung herrschenden atmosphärischen Druck von 975 mbar ein**, welcher subtrahiert werden muss, um den für den Durchfluss massgeblichen dynamischen Sekundärdruck zu kennen.

Was die benötigte **Pulsdauer** betrifft, wird diese mit den N und D-settings ja barometrisch der jeweiligen Flughöhe angepasst, wobei sie dort wo nötig, mit den F-settings zusätzlich noch manuell bis auf 500 ms verlängert werden kann. Die löbliche Absicht dahinter war, keinesfalls Sauerstoff in den sog. Totraumanteil der Einatmung (Pendelluft der oberen Luftwegen, welche nicht am Gasaustausch teilnimmt) zu verschwenden, v.a. bei Verwendung der Nasenkanülen. Bei Ruheatmung macht dieser Totraumanteil ca. 40 % des eingeatmeten Volumens (bei 500 ml) aus, d.h. man hätte sich die max. mögliche Pulsdauer auch bei 600 oder 650 ms vorstellen können, v.a für vertiefte Einatmungen mit längerer Einatmungszeit als 1 s, immer wenn durchführbar und auch für weitere realistische Atmungsfrequenzen als die zur Berechnung angenommenen 15 oder 20 AZ/min. Sowieso basiert beim EDS die O₂-Abgabe und somit die dazu benötigte O₂-Pulsdauer bei nominalem Durchfluss auf allen Flughöhen bis 20'000 ft, leider nicht auf neueren Flugmed. Versuchen des EDS-Herstellers und v.a nicht unter Berücksichtigung von Pilotenalter, BMI und vorbestandener Lungenpathologie (Raucherlunge, long Covid), sondern wurde lediglich aus der altgedienten Formel für Dauerströmer (continuous flow systeme) abgeleitet, also von 1l/min/10'000 ft, unter Subtraktion des dabei eingesparten, da sonst vergeudeten Sauerstoffes während der zweiten Hälfte der Einatmungszeit und der gesamten Ausatmungszeit. Dadurch konnte das EDS praktischerweise, trotz seines neuartigen "*pulse demand*"-Wirkprinzipes, unter dem bereits existenten, doch unzutreffenden Protokoll des Dauerströmers zugelassen werden. Somit musste leider auch das Maskenobligatorium ab 18'000 ft, welches punkto O₂-Applikation beim Dauerströmer durchaus Sinn macht, nicht aber beim EDS mit Nasenkanülen, mit übernommen werden. Geeignete (z.B. Hudson RCI, ref 1104) und perfekt sitzende, konische Nasenkanülen erwiesen sich aber als O₂-effizienter als die billige, hellgrüne Plastikmaske mit ihren multiplen Oeffnungen für die Umgebungsluft, welche dem EDS beiliegt, weil dort die Entstehung des pulsauslösenden Unterdruckes bei Einatmung länger dauert, was den Puls verspätet auslöst.

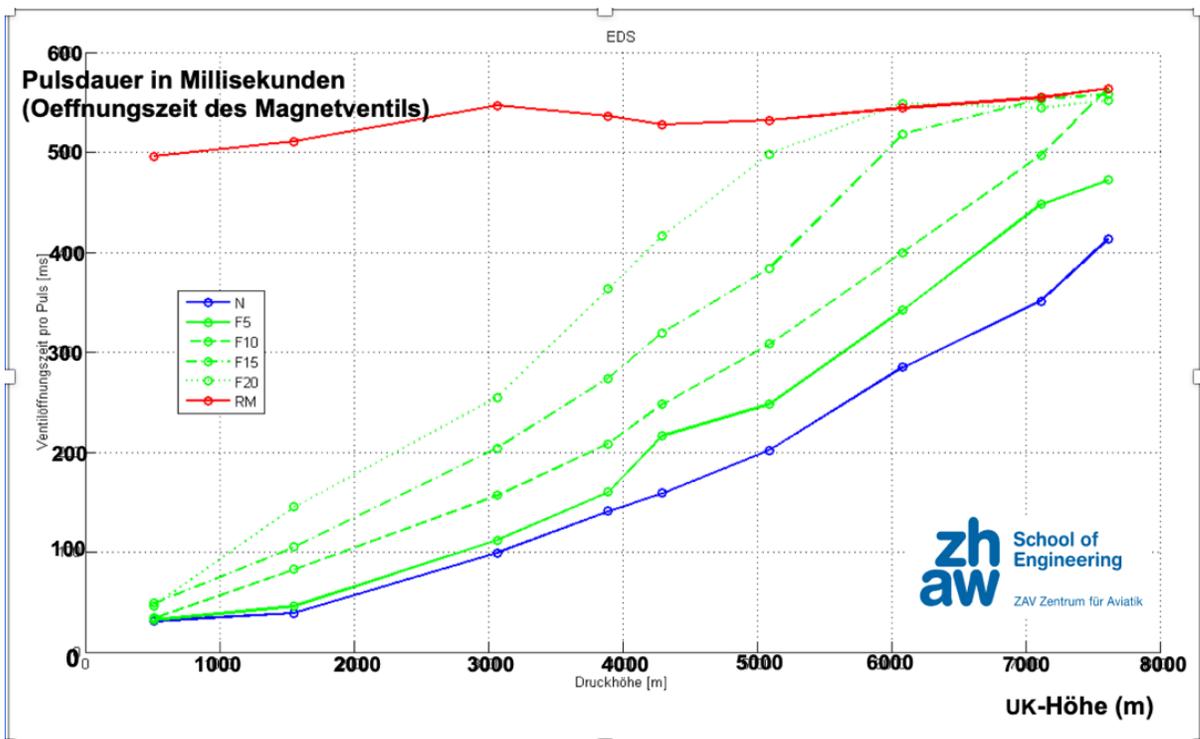
Für eine **Bachelorarbeit im Aviatikkurs 2012 der ZHAW** in Winterthur (Adrian Rätz und Ricardo Ricci) durfte der Autor ein flugmedizinisches Thema vorgeben und entschied sich für die technische (in der UK) und "in vivo"-Exploration des O₂-outputs der damaligen "*blackbox EDS*". Dazu gehörte auch ein Messflug mit den beiden jungen Bachelorkandidaten und 4 risikotypischen Probanden (alles Segelflieger mit dem EDS-O2D1 und Nasenkanülen, so wie einem registrierenden Handgelenks-POM CMS 50 l ausgerüstet) im ungeheizten PC-6 (Pilatus Porter, ohne Druckkabine notabene). Es galt dabei auf Flugplatzhöhe und den erfliegenen Höhenstufen alle 1000 m bis 6'000 m für die Dauer der Messungen zu verweilen und um allf. die F-settings anzupassen, welche die Ausgangs-O₂-Sättigung vor dem Start ("Nullhypoxie") aufrecht erhalten. Dabei musste jedesmal wenn die mittlere (wegen period. Atmg.) O₂-Sättigung gegen 90 % abfiel auf das nächsthöhere F-setting gewechselt werden.

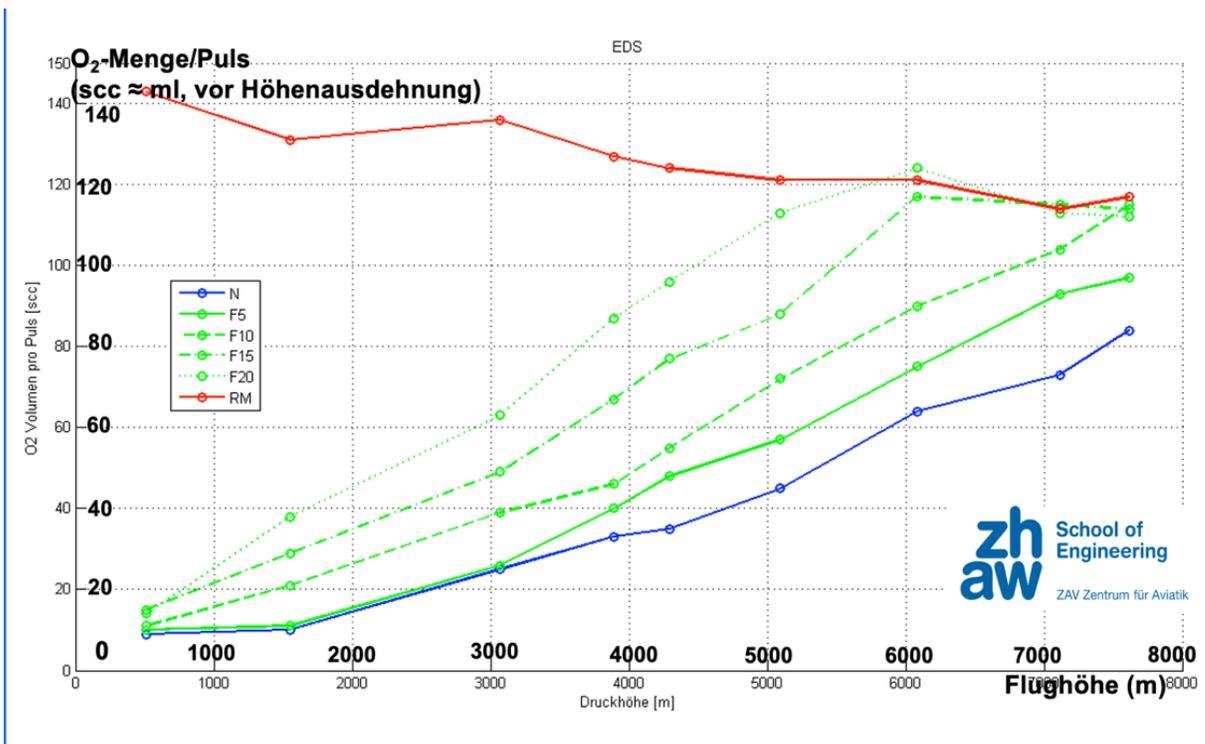
Der technische Teil, die Messung des O₂-outputs des EDS auf verschiedenen Flughöhen bis 7'500 m, erfolgte in der Unterdruckkammer des Fliegerärztlichen Instituts der Flugwaffe in Dübendorf. Es wurde dabei nur ein einziges EDS-O2D1 technisch vermessen, doch waren sowohl die beiden jungen Bachelor-Kandidaten, wie auch der damals 69-jährige Autor mit denselben EDS-Geräten



ausgerüstet, um wach und aufmerksam auf die simulierten Höhenstufen alle 1'000 m bis auf 7'500 m gebracht zu werden. Eine anschliessende Hypoxie-Demo auf dieser Endhöhe war nie vorgesehen. Einzig der Autor, als vorbekannter Luftschlucker (Aerophage), bekundete beim Aufstieg zunehmende und schliesslich kaum auszuhaltende Bauchschmerzen, beginnend ab den Höhen über 4'000 m und solange bis er sich schliesslich auf 7'500 m, den Mittelfinger in den Rachen steckte, um so die expandierte und gefangene Magenluftblase gut hörbar zu entlassen. Das Gesetz von Boyle-Mariotte liess hier grüssen. Hingegen beobachtete niemand eine ungenügende O₂-Sättigung oder hatte gar Hypoxie-Symptome bis zur Endhöhe, auch später nicht. Der auf obigem Bild nicht sichtbare, weil grad photographierende, oberverantwortliche militärische Chefarzt (ohne bisherige Erfahrung mit dem EDS und deshalb mit dem «diluter demand»- System mit A-20-Fliegermaske versehen), hatte vorsorglich einen weiteren Anästhesiologen aus der Uniklinik beigezogen, vielleicht weil ihm die drei zivilen Forscher der ZHAW mit ihren winzigen EDS-«black boxes» nicht ganz geheuer waren...

Dabei konnten interessante, weil unerwartete, O₂-output-Daten des EDS gesammelt werden,:





Jeder der farbigen Messpunkte ist das Mittel aus 5 manuellen Pulsauslösungen. Die Pulsdauer war die Dauer des Spannungsabfalls, gemessen im Batteriefach des EDS. Die effektiv abgegebenen O₂-Mengen pro Puls wurden gleichzeitig mit einem digitalen SENSIRION-Gas-Massenfluss-Sensor (Messbereich 0 - 20 Standardliter/min) automatisch Temperatur-kompensiert gemessen und über die Pulsdauer (ms) integriert.

Dabei fiel sofort auf, dass die nur submaximal vermuteten F-settings F15 und F20 (frühere Bezeichnung, wahrscheinlich der neuesten Pos. F3 entsprechend) bereits ab 6'000 m das mögliche Maximum, d.h. die Werte der höhenunabhängigen Maximal-Position R/M (neu F4) erreichen.

Ueberraschend war auch, dass während desselben Messzyklus die max. höhenunabhängige Pulsdauer von anfänglich 500 ms mit der Höhe bis auf 560 ms zunimmt, während gleichzeitig der präzisiert gemessene Massenfluss und somit die O₂-Maximalmenge pro Puls von anfänglich 142 ml bis auf 119 ml auf 7'500 m abfiel, was klar gegensinnig und unlogisch ist und somit Erklärungsnotstand bedeutet.

Die Erkenntnis in dieser Situation ist, dass die settings F15 und F20 und R/M (resp. neuF3) ab 6'000 m keine weitere Steigerung der O₂-Menge/Puls mehr zulassen, da diese bereits plafonieren. Wer also aufgrund seines fortgeschrittenen Alters, seines BMI >25 oder irgendeiner Lungenpathologie (z.B. Raucherlunge, Herzinsuffizienz oder *long covid*) vor Erreichen der 6'000 m bereits auf diese beiden F-settings angewiesen ist, sollte diese Höhe, im eigenen Interesse, als individuelle Obergrenze akzeptieren.



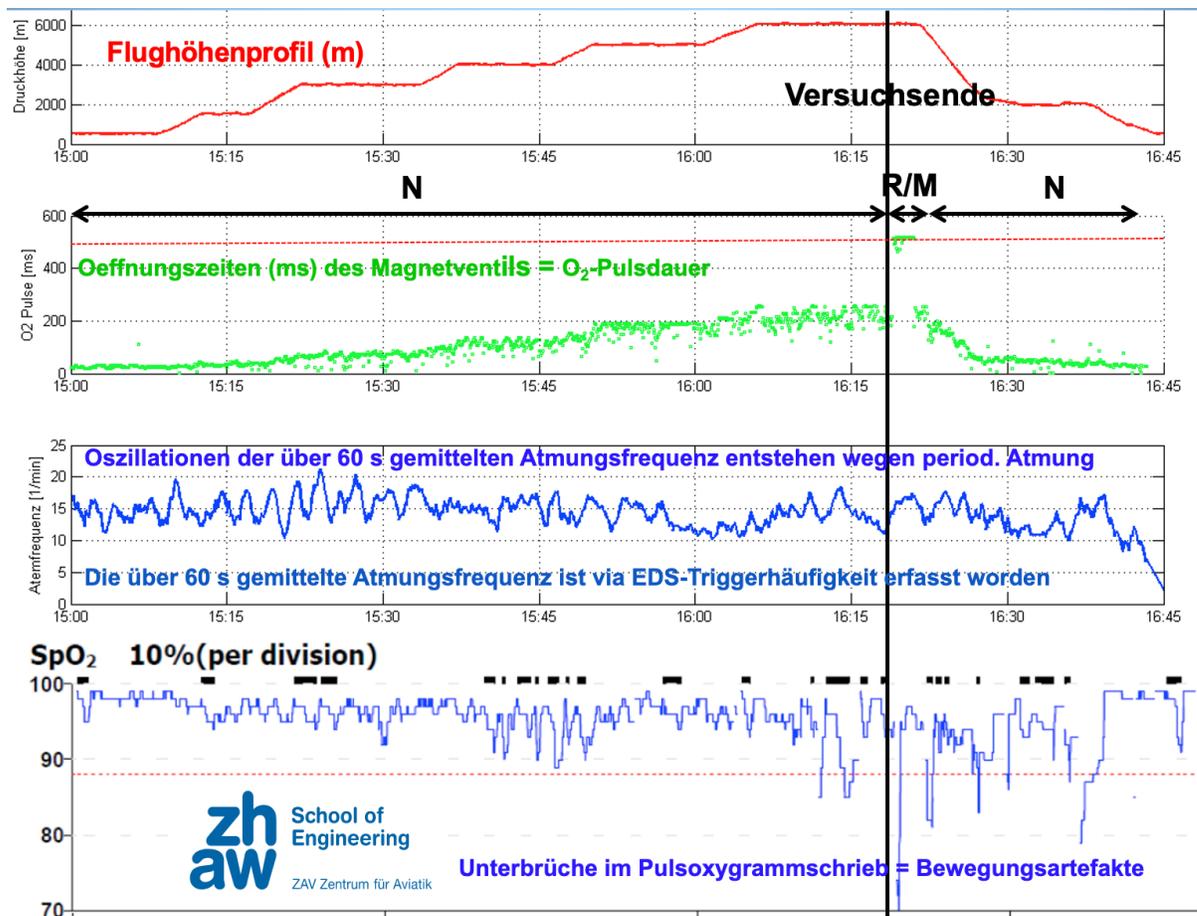
Eine ungetestete Abhilfe wäre 2 EDS parallel zu verschlauchten, übrigens eine Idee von Klaus Ohlmann für seine tagelangen Wellen-Streckenflüge in Patagonien. Die exakt synchrone Triggerung kann dabei nicht garantiert werden, doch wird, je nach den gewählten settings und verwendeten Innendurchmessern deren Zufuhrschläuche, fast die doppelte Menge O₂ pro Atemzug verfügbar. Ausserdem könnte im Pannenfall eines der EDS das andere als sofort nutzbares *backup*-Gerät einspringen, jedoch nicht das dringend

empfohlene, total unabhängige OXYfit 18-Notfallgerät überflüssig machen.

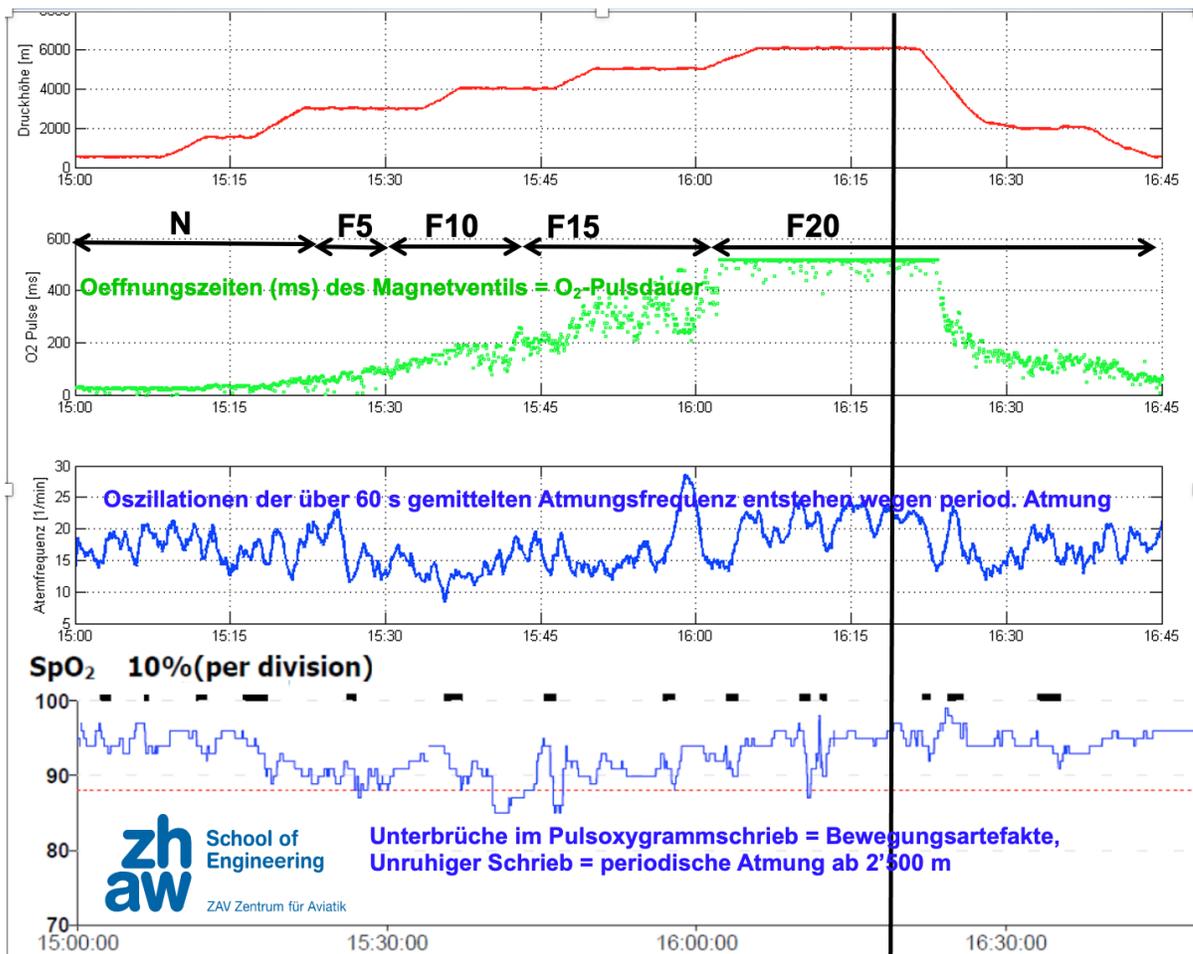
Zum Messflug im Pilatus Porter, welcher von der helvetischen Flugwaffe freundlicherweise oder evtl. auch aus Eigeninteresse an den Resultaten offeriert wurde:



Dabei zeigte sich, dass nur die junge (hier verdeckte) leichtgewichtige Segelfliegerin, wie auch die beiden jungen Bachelorkandidaten es schafften, mit der Grundeinstellung N auf der Endhöhe 6'000 m anzukommen, ohne je ihre mittlere O₂-Ausgangssättigung von 96 % einzubüssen. Die drei anderen, männlichen Probanden auf diesem Flug benötigten alle eine ein- bis mehrmalige Verlängerung der Pulsdauer (mit den F-settings), um ihre mittlere O₂-Sättigung über 90% zu halten, wobei der 69-jährige Nichtraucher mit einem BMI von 26.4 ab 5'000 m bereits die maximal mögliche Pulsdauer von 500 ms beanspruchte. Die graphischen Aufzeichnungen u.v.a.m. finden sich ebenfalls im Kapitel 12 des Buches von Jean-Marie Clément "Danse avec le vent"/"Dancing with the wind".



Obige Aufzeichnungen betreffen die junge, leichtgewichtige (55kg) Segelfliegerin mit dem Traum-BMI von 20.45, welche zwar zeitweise eine ausgeprägte periodische Atmung aufwies, doch auf 6'000 m angekommen nur die Hälfte der max. Ventilöffnungszeit benötigte. Sie ist der Prototyp eines sog. «good acclimatizer».

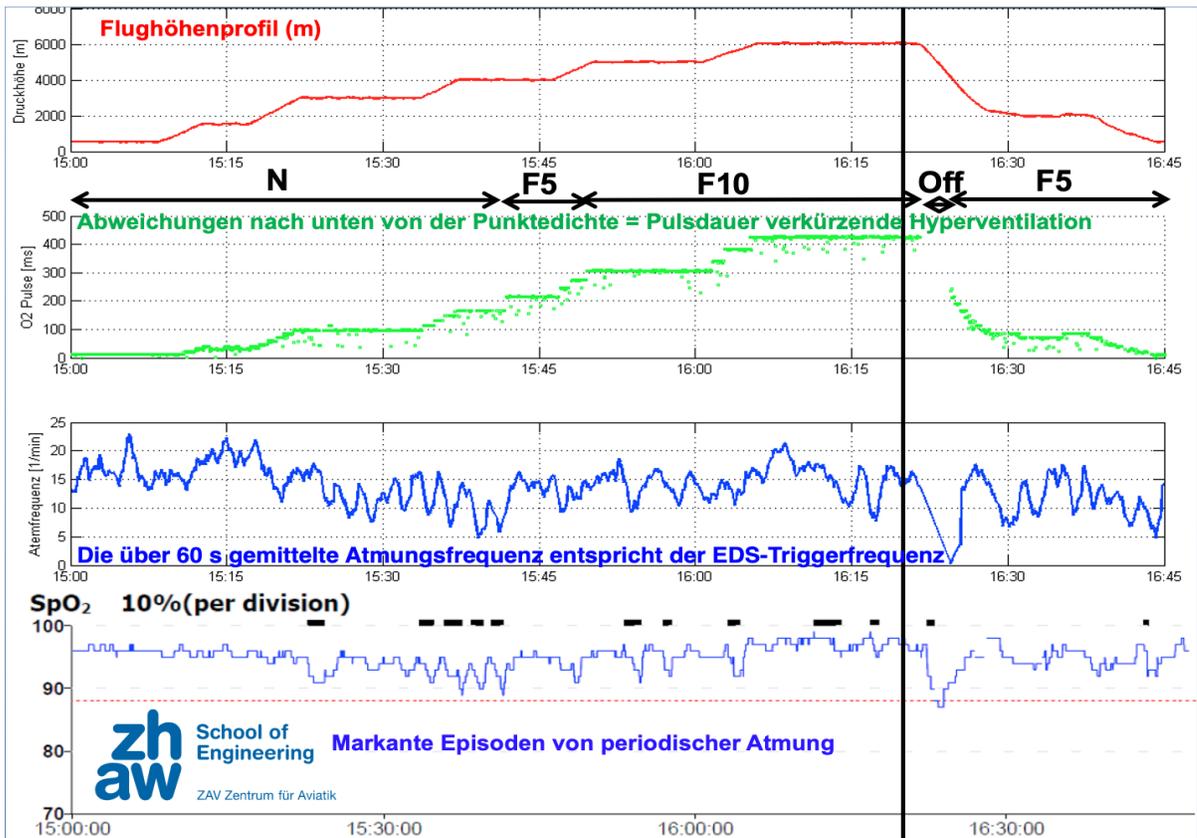


Obige Aufzeichnungen betreffen einen 69-jährigen, 78 kg schweren Nichtraucher mit einem BMI von 26.37 in sonst gutem Allgemeinzustand. Damit seine mittlere O₂-Sättigung nicht unter die 90%-Grenze fiel, mussten nacheinander sämtliche F-Positionen gerastet werden. Zwischen 4'000 und 6'000 m bekundete er, trotz vermehrter O₂-Abgabe, ziemliche Atmungsschwierigkeiten, erkennbar an der variablen Pulsdauer und am Maximum der mittleren Atemfrequenz von 28 Atemzügen/min. Ältere Segelflieger (z.B. ab Alter 50) mit Höhenambitionen sind hier besonders angesprochen und sollten sich früh beginnend und üppiger als früher Sauerstoff beim Alpenfliegen gönnen, was sinnmachender wäre als das eigene Aelterwerden zu verleugnen.

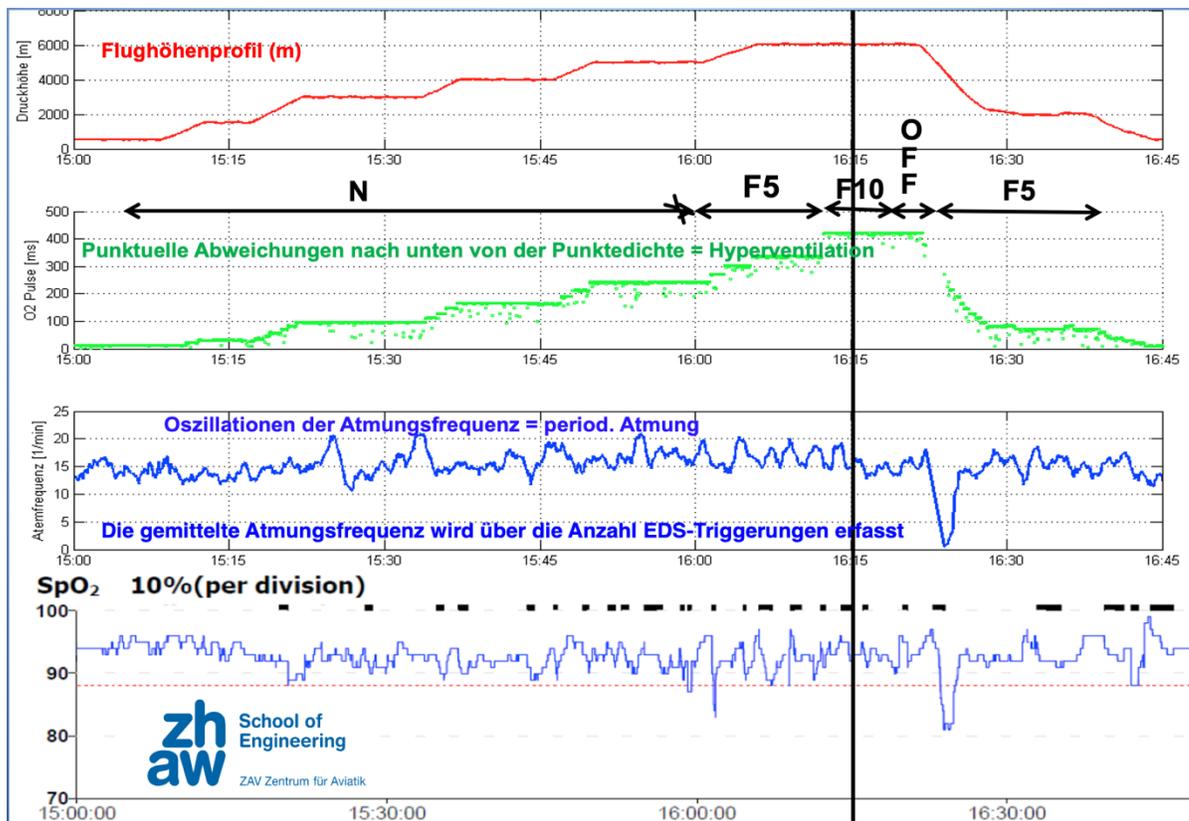
Die vertikale schwarze Linie bezeichnet das Ende des Versuches auf 6'000 m. Die Probanden durften ihre EDS settings von dort an frei wählen. Wer auf 6'000 m sein **EDS auf Off** stellte, wurde 35 bis 55 s später mit einem O₂-Sättigungs-Absturz bestraft.

Von Interesse ist auch die Bestimmung der Ansprechzeiten der Handgelenks Pulsoxymeter CMS-50 I mit Fingersensor: Um den Druckausgleich im Mittelohr **vor** dem eigentlichen EDS-Test bis auf 7'500m zu prüfen, wurde zu Beginn der UK-Druck «implosiv» auf 4'000 m abgesenkt, was die UK schlagartig einnebelte. Dabei blieben die EDS der beiden jungen Bachelorkandidaten auf Off. Die Tabelle gibt Auskunft über die chronometrierten Latenzzeiten der POM-Anzeigen auf 4'000 m:

	Räz	Ricci
EDS wird eingeschaltet (Modus R/M)		
Zeit bis zum Beginn des SpO ₂ Anstiegs	25 s	25 s
Zeit bis zum maximalem SpO ₂ / Maximalwert	40 s / 99 %	40 s / 99 %
EDS wird ausgeschaltet		
Zeit bis zum Beginn des SpO ₂ Abfalls	35 s	55 s
Zeit bis zum minimalen SpO ₂ / Minimalwert	65 s / 90 %	120 s / 89 %
EDS wird eingeschaltet (Modus R/M)		
Zeit bis zum Beginn des SpO ₂ Anstiegs	20 s	15 s
Zeit bis zum maximalem SpO ₂ / Maximalwert	30 s / 99 %	45 s / 98 %



Obige Aufzeichnungen betreffen den erst 36 jährigen Probanden mit 86 kg KG, einem BMI von 25.4, doch als langjähriger **Raucher** von 20 Cig/Tag bekannt, allerdings ohne bereits eine chron. Raucherbronchitis aufzuweisen. Auch er zeigte zwei Episoden von ausgeprägter periodischer Atmung ab 3'000 m und erforderte zur «Nullhypoxie» die settings F5 und F10.



Die Aufzeichnungen auf der vorigen Seite betreffen einen 38-jährigen Probanden mit stolzen 94 kg KG und einem BMI von 31.41, welcher 15 Cigaretten/Tag raucht. Auch er musste Gebrauch von

den F-settings F5 und F10 machen, um seine Ausgangssättigung von 95 % zu behalten, wobei v.a. seine rel hohen Atmungsfrequenzen auffallen.

3. Schlusswort:

Der Titel für diesen Aufsatz (Bis auf welche Flughöhe ist das EDS safe?) ist mit Absicht als Frage gewählt welche die richtige Antwort darauf erheischt. Eigentlich ist er ja irreführend, denn es ist nicht das Gerät EDS, das ab einer gewissen Höhe plötzlich «unsafe» wird. Höchstens die Unkenntnis seiner Wirkungsweise und Unzulänglichkeiten, so wie auch seine unkritische und nicht abgesicherte Verwendung wäre «unsafe», besonders in Flughöhen oberhalb 6'000 m, wo zwar zusätzliche, u.U. lebensgefährliche, doch mit antizipativer Flugvorbereitung vermeidbare Gefahren lauern.

Eigentlich existiert auch keine «safe» Maximalhöhe für das EDS, welche für alle Arten Höhenflüge und für das gesamte Kollektiv der Aeronauten gefahrlos wäre. So wie auch keine universelle, reglementarische FAR/EASA-Höhenlimite existiert, welche auf sämtliche Aeronauten, ob jung oder alt, leicht- oder schwergewichtig, fit oder angezählt, unter Autopilot fliegend oder in Rotoren sich abkämpfend, cool oder chronisch gestresst, so wie ausgeruht oder übermüdet zugeschnitten ist. Nur grad das sowieso wahrscheinliche, medizinische Ueberleben beim Höhenfliegen, falls möglich ohne Hirnschaden, genügt heute als Zielvorgabe nicht mehr, nicht nur für sich selbst, sondern auch für die umgebenden Luftraumbenutzer auf gleicher Flughöhe. Man könnte auf FL250 bei einer O₂-Panne zwar rein medizinisch betrachtet noch knapp dem Tod entrinnen, doch infolge unvermeidlichem, hypoxischem Bewusstseinsverlust z.B. seinen **Muskeltonus** augenblicklich einbüßen. Wenn durch diesen vorher im schnellstmöglichen Vorflug, weit ausserhalb des trimmbaren Bereiches, der Steuerknüppel aktiv in der vorderen Position festgehalten wurde, so wird beim darauf folgenden, abrupten vertikalen Richtungswechsel das Flugzeug bald seine Flügel los sein, was ein mögliches Szenario wäre, weil solches schon passiert ist.

Für einen Anästhesiologen kaum überraschend haben ältere, übergewichtige, unfitte, gestresste und bereits übermüdete Patienten (und somit auch Aeronauten), mit dem Ziel einer anständigen O₂-Sättigung, ausnahmslos einen höheren Sauerstoffbedarf. Hingegen erstaunt den Autor oftmals, mit welcher sekundärem Interesse und schmalem Budget, ja manchmal mit welcher Sorglosigkeit die flugmedizinischen Erfordernisse für Alpen-, Strecken und extremen Höhenflügen geplant und angegangen werden. Dies zum Vergleich mit den unbedenklich durchgewunkenen, erheblicheren Kosten für das leistungsfähigste Fluggerät, dessen top-Instrumentierung, so wie für Ausgaben für IT, Meteo, Fachzeitschriften, Ausrüstung, Déplacements, u.a.m.

«if you think that oxygen is expensive, try an accident» !

Die eigene Höhenlimite (vor Zusatz-O₂) ist ja oft, was die Welle hergibt. Der Autor hat nur Unverständnis parat für die Randgruppe der sog. Sauerstoff-Asketen («hypoxic hardliners») oder für gewisse besonders risikofreudige Jungpiloten («who flies highest until he dies, wins!»). Aber auch erfahrenere Aeronauten (z.B. nach tagelangen Alpenstreckenflügen ohne Zusatz-O₂), rufen bei ihm nur Kopfschütteln hervor, wo doch im extremen Kollisionsfall wenigstens zwei Menschenleben, kostenträchtige Juristen und viel Tränenfluss auf dem Spiel stehen. Wahrscheinlich sind sich alle einig, dass auch im jetzigen Jahrhundert die Unfallzahlen v.a. im Alpen- und Streckensegelflug immer noch unannehmbar hoch sind. Wenn auch die milde «inflight hypoxia» selten postuliert wird und post mortem nicht mal direkt nachgewiesen werden kann, so muss eine solche doch bei mehreren Flugunfällen als mitursächlich vermutet werden. Wenn im Fluge die Rohstoffe (Glucose und O₂) für sämtliche Seh- und Denkvorgänge mangeln, erhält der vielzitierte Ausdruck «pilot error» plötzlich eine neue Erklärung. Die durch die AME's periodisch attestierte, prospektive, jedoch mutmassliche Flugtauglichkeit muss jedenfalls auf jedem Fluge noch durch die eigenverantwortliche, aktuelle und aktiv optimierte Flugtauglichkeit ergänzt werden (z.B. wer bereits am Boden ständig hustet, an irgendeiner Anstrengungs-Atemnot leidet oder sich vor dem Start nicht pudelwohl fühlt, ist am gleichen Tag kaum höhenflugtauglich).

Dagegen hat sich der früh beginnende und ununterbrochene Einsatz des EDS für sämtliche Alpen- und Höhenflüge bis FL 200 und gelegentlich etwas darüber, seit über 20 Jahren bei den O₂-willigen und etwas Höhenmedizin-interessierten Segelfliegern bewährt. In der Hoffnung, dass die noch FLARM- und EDS-losen, O₂-beratungsresistenten übrigen Aeronauten dereinst ebenfalls nachziehen, auch ohne amtliches Obligatorium, entschuldigt sich der Autor für die etwas komplexe und anforderungsreiche Materie und bedankt sich bei den Lesern für dessen wohlwollende Assimilation.