

**DER EFFEKT VON SAUERSTOFF
WÄHREND DEM SEGELFLIEGEN**

Eine Maturitätsarbeit an der
KANTONSSCHULE LIMMATTAL

vorgelegt von

JULIUS FELNER

Klasse M6i

im Fach Biologie

betreut von

Anna-Katharina Holenweg Peter

2021

Zusammenfassung

In der Schweiz ist die Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff während dem Segelflug seit 2018 nicht mehr gesetzlich geregelt. Zuvor musste spätestens ab einer festgelegten Höhe von zirka 4000 m. ü. M. zusätzlicher Sauerstoff zu sich genommen werden. In der vorliegenden Arbeit wird der Effekt von zusätzlichem Sauerstoff auf den Piloten während dem Segelflug erforscht. Man beschränkt sich dabei auf das Höhenband 0 – 4000 m. ü. M.. Es wird untersucht, ob und wie stark zusätzlicher Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m. ü. M. die Aufmerksamkeit und Konzentration des Piloten beeinflusst. Somit kann beurteilt werden, ob es sinnvoll ist, zusätzlichen Sauerstoff schon unter 4000 m. ü. M. zu sich zu nehmen oder nicht. Dies ergibt die Fragestellung «Wie beeinflusst zusätzlicher Sauerstoff die Konzentration und Aufmerksamkeit der Piloten während dem Segelflug unter einer Höhe von 4000 m. ü. M.?».

Um die Fragestellung beantworten zu können, wurden eine Online-Umfrage und ein Experiment durchgeführt. Die Online-Umfrage beschäftigt sich mit dem Verhalten von Segelflugpiloten in Bezug auf die Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff während dem Flug. Es nahmen 496 Teilnehmer und Teilnehmerinnen an dieser Umfrage teil. Das Experiment erforschte mittels Kopfrechenaufgaben den Einfluss von zusätzlichem Sauerstoff auf den Piloten während eines Segelfluges unter 4000 m. ü. M.. Es nahmen fünf Probanden an dem Experiment teil.

Aus den Ergebnissen der Umfrage und des Experiments ist zu erkennen, dass der Effekt von zusätzlichem Sauerstoff auf den Piloten sehr individuell ist. Man kann keine generell geltende Höhe für Segelflugpiloten festlegen, ab welcher Sauerstoff eingenommen werden sollte. Jedoch kann gesagt werden, dass es sinnvoll ist, bereits unter 4000 m. ü. M. zusätzlichen Sauerstoff zu sich zu nehmen, in den meisten Fällen sogar schon unter 3000 m. ü. M.. Klar ersichtlich ist, dass Pilotinnen und Piloten mit zunehmendem Alter häufiger Symptome von Sauerstoffmangel beobachten als jüngere und stärker auf zusätzlichen Sauerstoff reagieren. Obwohl bei den meisten Piloten die Sauerstoffsättigung im Blut erst ab 3000 m. ü. M. unzureichend ist, wird vermutet, dass der Sauerstoffpartialdruck bereits unter 3000 m. ü. M. ungenügend hoch ist. Der Sauerstoffaustausch zwischen der Blutbahn und der Zelle kann daher nicht genügend schnell stattfinden. Somit wird auch die Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff unter 3000 m. ü. M. empfohlen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
1 Einleitung	1
1.1 Theoretische Grundlagen	2
1.1.1 Sportart Segelfliegen	2
1.1.2 Bedeutung von Sauerstoff beim Menschen	2
1.1.3 Gesetzliche Grundlagen.....	4
1.1.4 Weitere Erkenntnisse.....	6
2 Materialien und Methoden	7
2.1 Materialien	7
2.2 Methoden	7
2.2.1 Umfrage.....	7
2.2.2 Experiment.....	8
3 Resultate Umfrage.....	10
3.1 Teil 1: Allgemeines.....	10
3.2 Teil 2: Flugerfahrung	12
3.3 Teil 3: Sauerstoffbenutzung	15
3.4 Teil 4: Symptome.....	18
3.5 Vergleich von Fragestellungen	21
3.5.1 Vergleich der Altersgruppen.....	21
3.5.2 Der Einfluss der sportlichen Aktivität	26
3.5.3 Vergleich von Rauchern und Nichtrauchern	29
4 Resultate Experiment	32
4.1 Proband 1	33
4.2 Proband 2	34
4.3 Proband 3	35
4.4 Proband 4	36
4.5 Proband 5	37

5	Diskussion	38
5.1	Vergleich Umfrage mit Literatur	38
5.2	Experimente	41
5.3	Allgemeine Schlussfolgerungen	41
5.4	Beantwortung der Fragestellung	42
5.5	Ausblick	43
6	Literaturverzeichnis.....	44
7	Abbildungsverzeichnis	46
8	Danksagung.....	48
	Anhang	49
	Einhaltung rechtlicher Vorgaben.....	62

Abkürzungsverzeichnis

- SPL Segelflugpilotenlizenz
- Medical Ärztliche Untersuchungsbestätigung
- LAPL Umfang der ärztlichen Untersuchung
- Class 1 Umfang der ärztlichen Untersuchung
- Class 2 Umfang der ärztlichen Untersuchung
- RTF-Prüfung Funklizenz

1 Einleitung

Der Segelflug ist eine sehr weit verbreitete Sportart, vor allem in Europa. Es fasziniert viele, wie man mit einem Flugzeug ohne Motor mehrere Stunden in der Luft verbringen kann. Das Zusammenspiel von Natur, Flugzeug und Pilot lässt manche Leute mehrere hunderte bis tausende Kilometer weit gleiten. Jedoch sind diese zurückgelegten Distanzen nicht geschenkt. Sie erfordern die volle Konzentration und Aufmerksamkeit der Piloten über mehrere Stunden, was sehr schnell ermüdend wirken kann. Die Gefahr von Unfällen erhöht sich. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden wie z.B. ausgeruht sein, während dem Flug immer wieder einen Snack essen und ausreichend trinken, um den Anforderungen gerecht zu werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Benutzung von zusätzlichem Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m. ü. M. Diese Höhe ist ein verbreiteter Richtwert der Segelflugpiloten für die Benutzung von zusätzlichem Sauerstoff. Dies liegt wohl daran, dass bis Dezember 2018 Sauerstoff erst ab ca. 4000 m. ü. M. vorgeschrieben war. Trotzdem benutzen viele Segelflugpiloten zusätzlichen Sauerstoff schon unter 4000 m. ü. M., um die Konzentration und Aufmerksamkeit aufrecht zu erhalten.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Einfluss von zusätzlich eingenommenem Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m. ü. M. und dem Effekt, den der Sauerstoff auf die Konzentration und die Aufmerksamkeit der Piloten während dem Flug hat.

Somit ergibt sich folgende Fragestellung: «Wie beeinflusst zusätzlicher Sauerstoff die Konzentration und Aufmerksamkeit der Piloten während dem Segelflug unter einer Höhe von 4000 m. ü. M.?».

Mit einer Umfrage mit 496 Teilnehmern konnten Erfahrungen und Verhaltensweisen in Bezug auf das Einnehmen von zusätzlichem Sauerstoff unter 4000 m. ü. M. eruiert werden. Die Erfahrungen und Beobachtungen der Befragten deuten eindeutig auf einen positiven Effekt von zusätzlichem Sauerstoff auf die Konzentration und Aufmerksamkeit hin. Anhand dieser Antworten wurde vermutet, dass zusätzlicher Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m. ü. M. die Konzentration sowie die Aufmerksamkeit erhält oder sogar verbessert. Um die Fragestellung weiter zu erforschen und die Hypothese zu prüfen, wurde ein Experiment mehrfach durchgeführt. Mittels Kopfrechenaufgaben wurde während mehreren Segelflügen von mindestens drei Stunden Dauer (± 10 min) der Effekt von zusätzlichem Sauerstoff erforscht. Dabei wurde die Flughöhe von 4000 m. ü. M. nicht überschritten.

Im Folgenden werden für die bessere Lesbarkeit die Höhenangaben von z.B. «3000 m. ü. M.» vereinfacht als «3000 m» dargestellt. In der ganzen Arbeit wurde das generische Maskulinum verwendet. Es sollen sich jeweils alle Geschlechter damit angesprochen fühlen.

1.1 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel enthält Informationen zur Sportart Segelfliegen, erläutert den Einfluss des Sauerstoffs auf den menschlichen Körper und beschreibt die gesetzlichen Grundlagen zur Verwendung von zusätzlichem Sauerstoff in der Segelfliegerei.

1.1.1 Sportart Segelfliegen

Bei der Sportart Segelfliegen benutzt man anstelle eines Motors Naturkräfte, um zu fliegen. Wenn sich warme Luft durch Sonneneinstrahlung am Boden erwärmt, löst sich diese und steigt nach oben. Die aufsteigende Luft wird Thermik genannt. In vielen Fällen ist diese aufsteigende Luft nicht nur warm, sondern auch feucht. Sobald die Luft ihr Kondensationsniveau erreicht hat, entwickelt sich eine Cumuluswolke. Die Art und Weise, wie die Menschen mit einem Flugzeug ohne Antrieb so lange in der Luft bleiben, ist, wie vieles anderes, von der Natur abgeschaut. Viele Vogelarten nutzen die Thermik zu ihrem Vorteil, um ohne Muskelkraft in der Luft bleiben zu können und zu steigen. Thermik entsteht überall, wo die meteorologischen Bedingungen es zulassen, sei es im Mittelland, im Jura oder in den Alpen.

Da die Alpen um einiges höher liegen als z.B. das Mittelland oder der Jura, liegt das Kondensationsniveau der Thermik in den Alpen ebenfalls höher als im Mittelland oder dem Jura. Es ist nicht selten, dass die Flughöhe an einem Tag mit guten meteorologischen Bedingungen nahe an die 4000 m kommt. Bei Föhnlage kann man sogar mit den Föhnwellen weit über 4000 m steigen.

1.1.2 Bedeutung von Sauerstoff beim Menschen

Der menschliche Körper ist abhängig von Sauerstoff (O_2). Anders als Nahrung oder Flüssigkeiten kann der Körper Sauerstoff nicht speichern, weshalb er eine durchgehende Versorgung davon benötigt. Mit der Zellatmung wird dem Körper Energie in Form von Adenosintriphosphat ATP bereitgestellt. Der Sauerstoff ist massgeblich an der Produktion von ATP beteiligt [21]. Das Gehirn und andere Organe brauchen diese Energie, um richtig funktionieren zu können. Die Sauerstoffsättigung im Blut sollte mindestens 90% betragen, um eine einwandfreie Funktionalität der Organe zu gewährleisten [1]. Da die Luftdichte mit zunehmender Höhe abnimmt, geht somit auch der absolute Anteil an Sauerstoff pro Volumeneinheit zurück. Ab einer gewissen Höhe reicht der vorhandene Sauerstoff nicht mehr aus, um die Mindestsättigung im Blut von 90% zu erreichen. Der gesamte Körper oder einzelne Körperteile haben zu wenig Sauerstoff und man leidet an einer sogenannten Hypoxie [5]. Eine Hypoxie äussert sich durch verschiedene Symptome. Diese werden in die zwei Gruppen subjektive Symptome und objektive Symptome gegliedert.

- Subjektive Symptome bei einer Hypoxie sind Angst, Beklemmung, Müdigkeit, Sehstörungen, Übelkeit, Frieren oder Hitzewallung, Kribbeln in der Haut oder auch Euphorie.[1]
- Objektive Symptome bei einer Hypoxie sind Hyperventilation, blaues Anlaufen des Gesichts, verminderte Auffassungs-, Urteils- und Kritikfähigkeit sowie Koordinationsstörungen [1]

Wie bei den oben genannten Symptomen zu erkennen ist, können diese einen gravierenden Einfluss auf die Befindlichkeit des Piloten haben und stellen eine erhebliche potentielle Gefahr dar. Da Segelflugzeuge keine Druckkabine haben, rechtfertigt das die Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff.

In der Regel fängt der menschliche Körper ab 2000 m an, den nicht vorhandenen Sauerstoff mit vertiefter Atmung und erhöhtem Herzschlag zu kompensieren. So kommen die Organe trotz weniger Sauerstoff in der Luft trotzdem noch zur benötigten Menge. Diese Höhe von 2000 m wird Reaktionsschwelle genannt. Ab ca. 3000 m ist die Störschwelle erreicht [1]. Hier reicht der vorhandene Sauerstoff nicht mehr aus, um den Körper ausreichend zu versorgen. Die vertiefte Atmung sowie der erhöhte Herzschlag können den Mangel an Sauerstoff in der Luft nicht mehr kompensieren und der Sauerstoffsättigungswert im Blut sinkt unter 90%. Als Beobachter erkennt man einen zunehmenden Leistungsabfall und einige der oben genannten Symptome [1]. Die Symptome verstärken sich mit zunehmender Höhe bzw. zunehmender Stärke der Hypoxie.

Folgende Darstellung zeigt den Einfluss der Höhe über dem Meeresspiegel auf die Sauerstoffsättigung beim Menschen.

Tabelle 1: Sauerstoffsättigung nach Höhe [2]

Höhe (ft)	Höhe (m)	Sauerstoff- sättigung im Blut (Kind)	Sauerstoff- sättigung im Blut (Raucher)
0	0	100%	95%
10'000	3'050	93%	88%
13'000	3'960	88%	83%
16'000	4'880	80%	75%
20'000	6'100	75%	70%

1.1.3 Gesetzliche Grundlagen

Seit 1963 regelte die schweizerische Gesetzgebung die Nutzung von zusätzlichem Sauerstoff mit der von der amerikanischen Federal Aviation Administration FAA übernommenen Vorschrift FAR 91.211:

“Oxygen must be used by a pilot anytime above 14'000 ft (4267m) and above 12'500 ft (3810 m) in excess of 30 minutes.” [2]

Diese Vorschrift definiert, dass Sauerstoff in jeder Situation über 14'000 ft (4267m) und ab 30 Minuten über 12'500 ft (3810m) eingenommen werden muss. Seit dem 25. August 2016 hat diese Vorschrift keine Gültigkeit mehr [18].

Die Schweiz übernahm die Gesetzgebung der EASA für “nicht-komplex motorangetriebene Luftfahrzeuge” (EASA-Part-NCO) [18]. Der Annex VII der Verordnung (EU) Nr. 965/2012 der EASA war in anderen Mitgliedsstaaten seit dem 14. August 2013 aktiv. Wie in der Verordnung unter NCO.OP.190 zu erkennen ist, entspricht die neue Gesetzgebung der alten. Folgendes ist dort zu lesen:

“The pilot-in-command shall ensure that he/she and flight crew members engaged in performing duties essential to the safe operation of an aircraft in flight use supplemental oxygen continuously whenever the cabin altitude exceeds 10'000 ft for a period of more than 30 minutes and whenever the cabin altitude exceeds 13'000 ft.” [19]

Die Gesetzgebung der FAA wurde von der EASA in Sachen Sauerstoffbenutzung übernommen und leicht angepasst. Neu konnte man nur noch maximal 13'000 ft (3'962 m), anstatt 14'000 ft (4'267 m) hoch fliegen, ohne zusätzlichen Sauerstoff zu sich nehmen zu müssen.

Da in der Schweiz aber erst seit dem 25. August 2016 die EASA-Part-NCO Gültigkeit hatte, traf der oben genannte Fall für die Schweiz nicht mehr ein. Eine geänderte Version der Verordnung (EU) Nr. 965/2012 gilt ab dem 22. Juli 2016. In der “COMMISSION REGULATION” (EU) 2016/1199 wurde die Regulierung zu Benutzung von zusätzlichem Sauerstoff angepasst. Unter ‘NCO.OP.190 ist Folgendes zu lesen:

“The pilot-in-command shall ensure that all flight crew members engaged in performing duties essential to the safe operation of an aircraft in flight use supplemental oxygen continuously whenever he/she determines that at the altitude of the intended flight the lack of oxygen might result in impairment of the faculties of crew members, and shall ensure that supplemental oxygen is available to passengers when lack of oxygen might harmfully affect passengers.

In any other case when the pilot-in-command cannot determine how the lack of oxygen might affect all occupants on board, he/she shall ensure that:

all crew members engaged in performing duties essential to the safe operation of an aircraft in flight use supplemental oxygen for any period in excess of 30 minutes when the pressure altitude in the passenger compartment will be between 10'000 ft and 13'000 ft;
and

all occupants use supplemental oxygen for any period that the pressure altitude in the passenger compartment will be above 13'000 ft.” [20]

Der verantwortliche Pilot hat sicherzustellen, dass alle Mitfliegenden mit Sauerstoff versorgt werden, wenn er eine Beeinträchtigung durch den Sauerstoffmangel feststellen kann. In allen anderen Fällen bzw. wenn der verantwortliche Pilot dies nicht beurteilen kann, müssen alle Mitfliegenden wie in der Verordnung (EU) Nr. 965/2012 ab den bekannten Höhen zusätzlichen Sauerstoff zu sich nehmen.

Der verantwortliche Pilot hat somit die weitere Verpflichtung, wenn nötig, auch unter 13'000 ft (3'962 m) bzw. 10'000 ft (3'048 m) zusätzlichen Sauerstoff zu sich zu nehmen.

Diese Regulierung ist noch immer gültig, jedoch hat die EASA die Segelflugzeuge rechtlich von den Motorflugzeugen getrennt. Seit dem 20. Dezember 2018 gilt die “COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU)” 2018/1976 für Segelflugzeuge. Diese definiert die Einnahme von Sauerstoff im Dokumentteil «SAO.OP.150: Use of supplemental oxygen». Folgendes ist dort formuliert:

“The pilot-in-command shall ensure that all persons on board use supplemental oxygen whenever he or she determines that, at the altitude of the intended flight, lack of oxygen might result in impairment of their faculties or harmfully affect them. “ [6]

Die Einnahme von Sauerstoff ist somit nicht mehr mit einer Höhe reguliert, sondern der verantwortliche Pilot hat selbst zu entscheiden, ab welcher Höhe er bzw. seine Passagiere Sauerstoff zu sich nehmen müssen.

Viele der heutigen Segelfluggpiloten flogen jahrelang unter der Übernahme der gesetzlichen Bestimmung FAR 91.211, die zusätzlichen Sauerstoff erst ab 14'000 ft (4267 m) vorschrieb. Da die neue Bestimmung der EASA es nun den Segelfluggpiloten seit dem 20. Dezember 2018 frei lässt, ab welcher Höhe sie Sauerstoff einnehmen, gibt es Segelfluggpiloten, die sich noch an die alte Bestimmung halten.

Dr. med. Heini Schaffner beschreibt, dass die (alte) gesetzlich vorgeschriebene Höhe für die Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff einer Studie mit unrealistischen Umständen zugrunde liegt [2]. Das Problem an der gesetzlichen Höhenschranke in FAR 91.211 beschreibt er folgendermassen:

“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 [(UKs)] an jungen, topfitten Militärfliegern durchgeführt. Daher darf deren Aussagekraft für die gegenwärtige segelfliegerische Praxis ruhig in Frage gestellt

werden, weil ja Kälte, Lüftungs[-] und Funklärm, Sonneneinstrahlung, Ängste, Turbulenzen, Beschleunigungen, Flüssigkeitsmangel und [Altersgebrechen] als Stressoren in den damaligen [UKs] nicht simuliert wurden. Nicht auszuschliessen ist ferner, dass die Atmosphäre in den kleinräumigen [UKs] effektiv etwas O₂-reicher war, als [es] 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.“ [2]

Dr. med. Heini Schaffner empfiehlt, weit unter 4000 m zusätzlichen Sauerstoff zu sich zu nehmen.

1.1.4 Weitere Erkenntnisse

Schon ab 5'000 ft (1554 m) sind gewisse Zellen des menschlichen Körpers unterversorgt. Besonders stark reagiert das Sehsystem darauf. Ohne zusätzlichen Sauerstoff können Symptome wie Augenbrennen, eingeschränkte Hell-Dunkel-Adaption, Empfindlichkeit auf Blendung, Verzögerung des Erfassens von Flugobjekten, verminderte Sehschärfe und letztendlich Einschränkung des Gesichtsfeldes auftreten [4].

2 Materialien und Methoden

Dieses Kapitel beschreibt die in dieser Arbeit verwendeten Materialien.

2.1 Materialien

- Doppelsitziges Segelflugzeug (Schempp-Hirth Duo Discus HB-3401)
- Eine aufgefüllte Sauerstoffflasche pro Person
- Mountain High EDS-D1 Sauerstoff-Anlage
- Nasenkanülen
- Stoppuhr
- iPad zum Protokollieren
- Excel Datei mit Rechenaufgaben
- Flugaufzeichnungsgerät (Naviter Oudie IGC)

2.2 Methoden

Im Folgenden werden die Methoden dieser Arbeit beschrieben. Es wird auf die Umfrage und das Experiment eingegangen.

2.2.1 Umfrage

Bei der Umfrage wurden insgesamt 496 Segelflugpiloten befragt. Eine URL zur Online-Umfrage mittels der Webseite www.surveymonkey.com wurde an 1900 Segelflugpiloten in der deutschen und französischen Schweiz per E-Mail verschickt. Die Rücklaufquote lag bei 26.1%. Die Umfrage wurde in vier Abschnitte unterteilt, wobei der erste Abschnitt (Teil 1) ein allgemeiner Abschnitt war, der das Alter, das Geschlecht, die sportliche Aktivität und das Verhältnis zum Rauchen erfragte. Der zweite Abschnitt (Teil 2) handelte von der Flugerfahrung der Befragten. Es wurden die Anzahl an geflogenen Stunden, deren Hauptfluggebiete, ob sie Streckenflüge durchführen bzw. an Wettbewerben teilnehmen und die durchschnittliche Länge der Flüge behandelt. Die Art und Weise wie mit dem zusätzlichen Sauerstoff während dem Flug umgegangen wird, war Thema des dritten Abschnitts (Teil 3). Es wurde erfragt, wie oft die Segelflugpiloten mit zusätzlichem Sauerstoff fliegen, welche Geräte sie zur Regulierung und Zuführung des zusätzlichen Sauerstoffs benutzen und ab welchem Zeitpunkt im Flug sie den zusätzlichen Sauerstoff verwenden. Es wurde auch erfragt, ob die Segelflugpiloten den Sauerstoff aus anderen Gründen benutzen. Der vierte Abschnitt (Teil 4) beschäftigte sich vor allem mit beobachteten Symptomen in Bezug auf das Einnehmen von zusätzlichem Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m.

2.2.2 Experiment

Dieses Kapitel beschreibt die Vorbereitung und Durchführung des Experiments. Mit dem Experiment wurden Trends der Umfrage untersucht.

Vorbereitungen für die Durchführung

Um einen Leistungsabfall ohne zusätzlichen Sauerstoff und eine Steigerung bzw. Erhaltung der Leistung mit zusätzlichem Sauerstoff festzustellen, wurden Kopfrechenaufgaben benutzt. Bei der Erstellung dieser Kopfrechenaufgaben wurde mehrheitlich darauf geachtet, dass diese «zu denken» gaben, also eine Rechenleistung des Gehirns notwendig war. Somit wurden auswendig gelernte Rechnungen wie z.B. 7×3 nur selten verwendet. Pro Rechenblock gab es 13 Kopfrechenaufgaben mit durchmischten Operationen der vier Grundrechenarten. Es wurden 12 Rechenblöcke erstellt und jeweils darauf geachtet, dass die Reihenfolge der Operationen und Schwierigkeit der Aufgaben kongruieren und von gleichem Wert sind. Jeweils zwei Rechenblöcke wurden einer Stunde Flugzeit zugewiesen. Der jeweils erste Rechenblock pro Flugstunde war für einen Durchlauf mit Sauerstoff, der zweite ohne Sauerstoff vorgesehen. Somit wurde mit 12 Rechenblöcken für sechs Flugstunden vorgesorgt. Um die Auswertung zu erleichtern, wurden die Blöcke in einer Excel-Datei zusammengefasst, damit diese während dem Flug mit einem iPad vom Protokollierer abgefragt und die gemessenen Zeiten erfasst werden konnten. Um den Einfluss auf das Alter zu evaluieren, wurden folgende drei Altersgruppen definiert: 14-25 Jahre, 26-60 Jahre und 61-100 Jahre. Es wurden jeweils mindestens drei Probanden pro Altersgruppe ausgesucht, insgesamt also neun Probanden. Auf das Geschlecht der Probanden wurde nicht geachtet. Die Flüge wurden jeweils mit einem Flugaufzeichnungsgerät festgehalten. In diesem Fall war es ein Naviter Oudie IGC.

Vorbereitungen vor den Flügen

Zur Vorbereitung der Flüge wurden jeweils zwei bis drei Tage vor dem Flug die Wetterdienste wie MeteoSchweiz und Top Task (DWD) konsultiert. Wenn diese gutes Flugwetter versprochen, wurde ein doppelsitziges Segelflugzeug reserviert und ein Proband ausgesucht. Es wurde darauf geachtet, dass der Proband mindestens eine gültige SPL-Lizenz, sowie ein gültiges Medical LAPL bzw. Class 1 oder 2 hatte und die jeweils dafür benötigten Flugstunden aufwies. Erweiterungen wie die RTF-Prüfung oder ein Language Proficiency waren optional. Am jeweiligen Vorabend wurden das iPad zum Protokollieren und das Navigationsgerät für die Flugaufzeichnung aufgeladen und vorbereitet.

Durchführung während dem Flug

Der Proband sass im vorderen der beiden Sitze und übernahm den kompletten Flug, da dieses Experiment einen Flug in einem einsitzigen Segelflugzeug simulieren sollte. Sobald der Proband im Flugzeug sass, also schon beim Start, nahm er zusätzlichen Sauerstoff zu sich. Dies geschah immer mittels Nasenkanülen, die an der Mountain High EDS-D1 Sauerstoff-Anlage angeschlossen waren. Das Mountain High EDS-D1 wurde auf die Stufe N (Now bzw. Normal) eingestellt. Das Gerät liefert bei dieser Einstellung beim Einatmen eine von der Flughöhe abhängige Menge reinen Sauerstoff. Sobald sich das Flugzeug nach dem Ausklinken stabil in einem Thermikschlauch befand, wurde der erste Rechenblock abgefragt. Dabei nannte der Protokollierer jeweils die einzelnen Kopfrechenaufgaben, die der Proband zu lösen hatte. Es wurde für jede einzelne der 13 Kopfrechenaufgaben die Zeit gestoppt und protokolliert. Des Weiteren wurde das Ergebnis des Probanden auf seine Richtigkeit überprüft und dies ebenfalls protokolliert. Sobald der erste Rechenblock abgeschlossen war, wurde die Mountain High EDS-D1 Sauerstoff-Anlage ausgeschaltet und die Stoppuhr auf 30 Minuten gesetzt. Sobald diese 30 Minuten abgelaufen waren, wurde der zweite Rechenblock abgefragt, diesmal ohne zusätzlichen Sauerstoff. Die Mountain High EDS-D1 Sauerstoffanlage blieb ausgeschaltet. Für jede einzelne Kopfrechenaufgabe von diesem Block wurde die Zeit ebenfalls einzeln gestoppt und protokolliert. Es wurden wieder die Ergebnisse auf ihr Richtigkeit überprüft und diese protokolliert. Sobald der zweite Rechenblock abgeschlossen war, wurde die Mountain High EDS-D1 Sauerstoffanlage wieder auf N eingestellt und die Stoppuhr auf 30 Minuten gesetzt. Sobald diese 30 Minuten abgelaufen waren, wurde mit dem dritten Block abgefragt. Dieses Prozedere wurde für mindestens drei Stunden (± 10 min) durchgeführt. So gab es mindestens sechs Rechenblöcke zur Auswertung pro Flug. Beim Stellen der Kopfrechenaufgaben wurde darauf geachtet, dass sich das Segelflugzeug nicht in einer heiklen Flugsituation, wie z.B. einem Landeanflug o.ä. befand, da dies die Sicherheit beider Insassen gefährdet hätte.

3 Resultate Umfrage

Dieses Kapitel beschreibt alle Ergebnisse der Umfrage gemäss Kapitel 2.2.1. Um eine Übersicht sicherzustellen, wurden vier Teile (Teil 1, Teil 2, Teil 3 und Teil 4) erstellt, die jeweils andere Themenbereiche behandeln.

3.1 Teil 1: Allgemeines

Der erste Teil der Umfrage umfasst allgemeine Fragestellungen zur Person wie das Alter, das Geschlecht, sportliche Aktivität und das Verhältnis der Teilnehmenden zum Rauchen.

1. Wie alt sind Sie?

Abbildung 1 zeigt das Alter aller Befragten. Die drei Altersgruppen des Experiments wurden jeweils in zwei aufgeteilt, um die Ergebnisse der Umfrage genauer beurteilen zu können. Der grösste Teil der Befragten, 37.76%, ist 41-60 Jahre alt. Darauf folgt die Altersgruppe 61-80 Jahre mit 33.06%. Piloten zwischen 26 und 40 Jahren sind mit 17.55% an der Umfrage beteiligt. Junge Piloten im Alter von 19-25 Jahren beteiligten sich mit 8.16%. Den geringsten Anteil machen die Piloten von 14-18 Jahren mit 2.45% aus. Piloten zwischen 81 und 100 Jahren waren mit 1.02% vertreten.

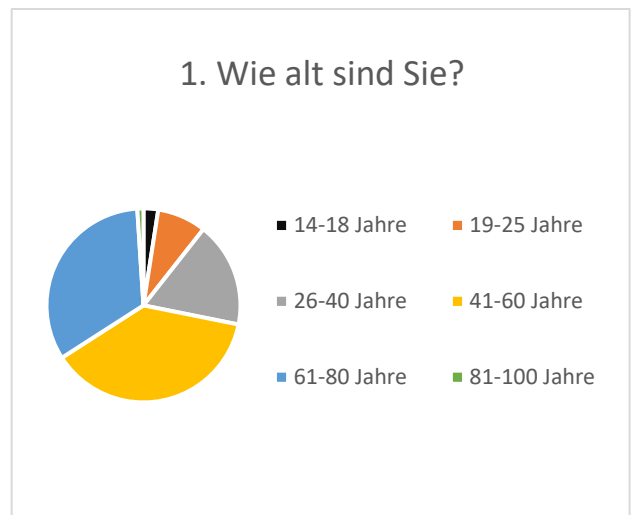


Abbildung 1: Alter der Befragten

2. Geschlechterverteilung

Abbildung 2 zeigt die Vertretung der Geschlechter bei der Umfrage. Vorwiegend waren Männer vertreten. Insgesamt nahmen 468 Männer, 21 Frauen und 0 Andersgeschlechtliche an dieser Umfrage teil. 7 Personen haben diese Frage übersprungen. Das ergibt einen Anteil von 95.71% Männern und 4.29% Frauen.

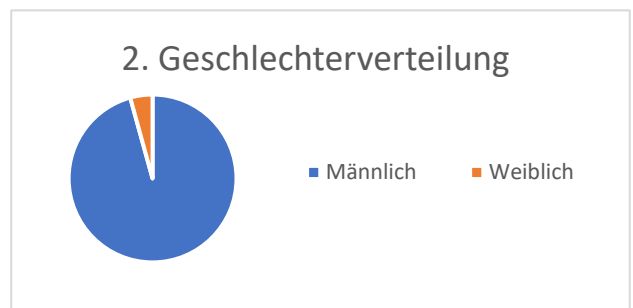


Abbildung 2: Geschlechterverteilung

3. Wie viele Stunden Sport betreiben Sie pro Woche?

Abbildung 3 zeigt die sportliche Aktivität der Befragten in Stunden pro Woche. Das Resultat war unterschiedlich gestreut. Die grösste Gruppe, 48.15% der Befragten, antwortete, dass sie 1-3 Stunden Sport pro Woche betreiben. Einige Befragte, 18.24%, betreiben 3-5 Stunden Sport pro Woche, während 17.83% der Befragten weniger als 1 Stunde Sport pro Woche machen. 10.45% machen über 5 Stunden Sport pro Woche und 5.33% der Befragten gar keinen Sport.

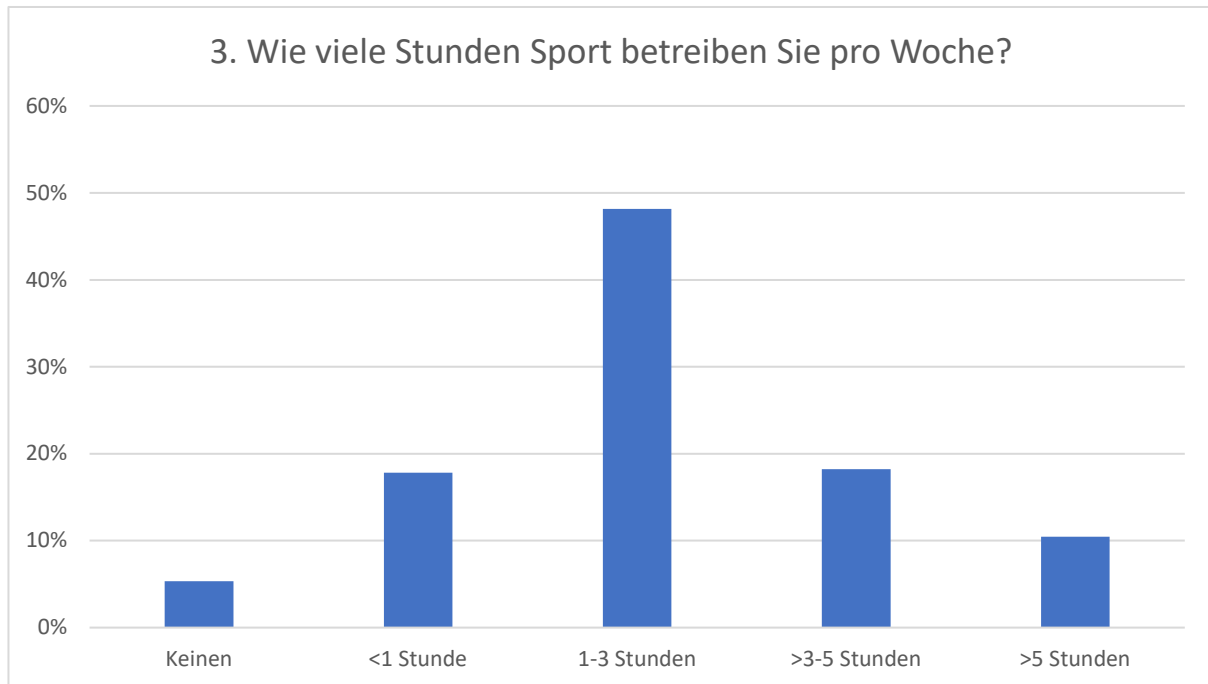


Abbildung 3: Sportliche Aktivität

4. Machen Sie Ausdauertraining?

Abbildung 4 zeigt, ob und wie intensiv die Befragten Ausdauertraining machen. Dies wird in Stunden pro Woche gemessen. Es ist in Abbildung 4 ersichtlich, dass sich die Antworten der Befragten regelmässig verteilen. Die Mehrheit, nämlich 36.81%, betreiben nur gelegentlich Ausdauertraining. 29.65% machen kein Ausdauertraining. 25.16% betreiben 1-3 Stunden Ausdauertraining pro Woche und 8.38% mehr als 3 Stunden.

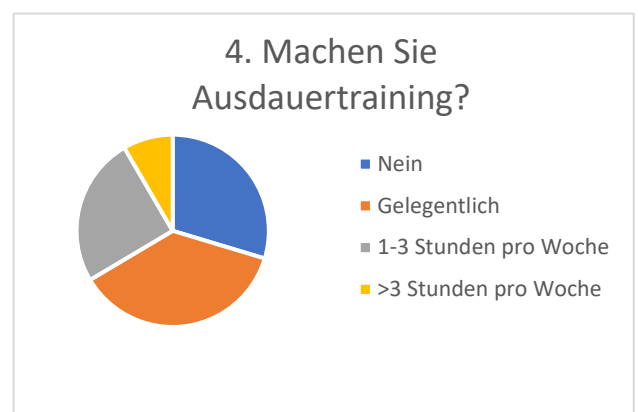


Abbildung 4: Ausdauertraining

5. Sind Sie Raucher?

Das Verhältnis zum Rauchen wurde in Frage 5 erfragt und die erhaltenen Antworten werden in Abbildung 5 dargestellt. Sie zeigt, dass 92.45% keine Raucher sind, während 7.55% rauchen.

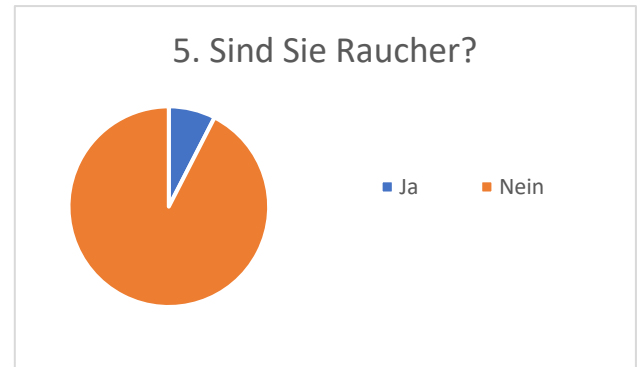


Abbildung 5: Verhältnis zum Rauchen

3.2 Teil 2: Flugerfahrung

Der zweite Abschnitt (Teil 2) der Umfrage beschäftigte sich mit der Flugerfahrung der Befragten. Es wurden die Anzahl an Flugstunden erfragt, die Hauptfluggebiete der Piloten bestimmt, ob sie Streckenflüge durchführen bzw. an Wettbewerben teilnehmen sowie die durchschnittliche Länge der Flüge untersucht.

6. Wie viele Flugstunden haben Sie?

Abbildung 6 zeigt die Flugerfahrung der Befragten in Stunden. Die Hälfte der Befragten, 50.53% der Piloten, haben über 1000 Flugstunden. 19.32% können 501-1000 Flugstunden vorweisen. 201-500 Flugstunden haben 14.01% und 51-200 Flugstunden haben 13.59% der Teilnehmer. Nur 2.55% haben 0-50 Stunden Flugerfahrung.

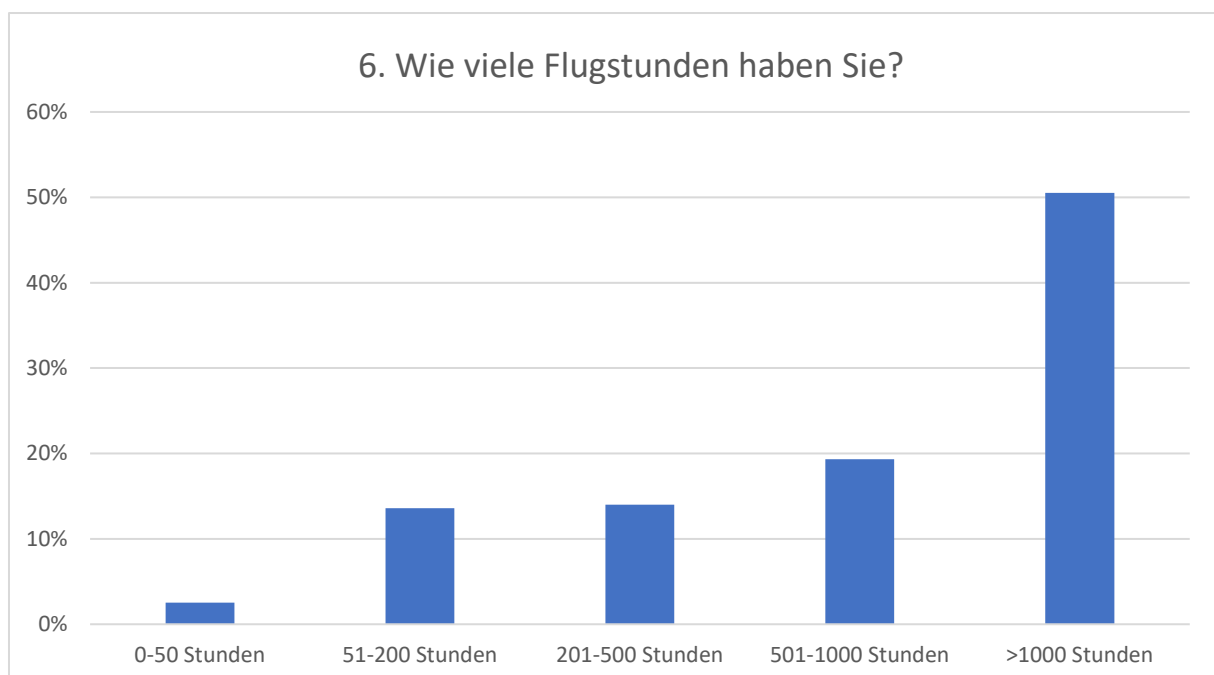


Abbildung 6: Flugerfahrung in Stunden

7. Welches ist Ihr Hauptfluggebiet?

Abbildung 7 zeigt die meistbeflogenen Gebiete der Piloten. Die Alpen sind mit 40.13% das meistbeflogene Fluggebiet. Darauf folgt der Jura mit 28.66%. 19.32% gaben an, dass ihr Hauptfluggebiet die Hochalpen sind. Das Mittelland ist das am wenigsten beflogene Gebiet mit 11.89%.



Abbildung 7: Hauptfluggebiete der Piloten

8. Machen Sie Streckenflüge?

Als Streckenflug gelten jene Flüge, die weiter als 50 km Entfernung vom Heimatflugplatz erreichen und der Pilot die Absicht hat, lange Strecken zurückzulegen. Zusätzlich werden die Streckenflüge in <300 km und >300 km unterteilt, um sie besser differenzieren zu können. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, fliegen 51.06% der Befragten Streckenflüge über 300 km. 39.37% machen Streckenflüge unter 300 km, während ein Anteil von 9.57% keine Streckenflüge durchführt.

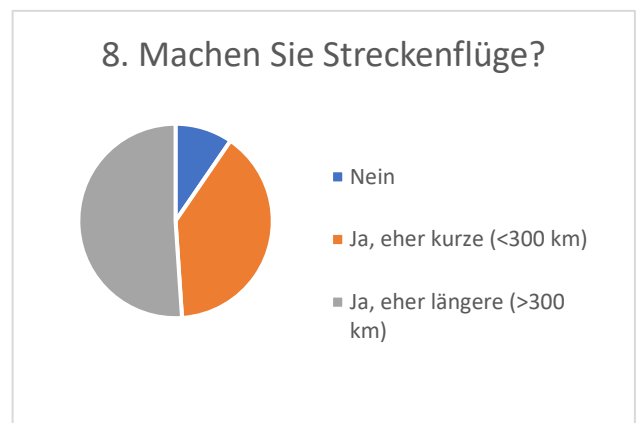


Abbildung 8: Streckenflüge

9. Fliegen Sie Wettbewerbe?

Abbildung 9 zeigt, wie viele Piloten an Segelflugwettbewerben teilnehmen. Deutlich zu erkennen ist, dass die Mehrheit der Befragten (83.83%) keine Wettbewerbe fliegt. Die Wettbewerbspiloten sind mit einem Anteil von 16.17% vertreten.

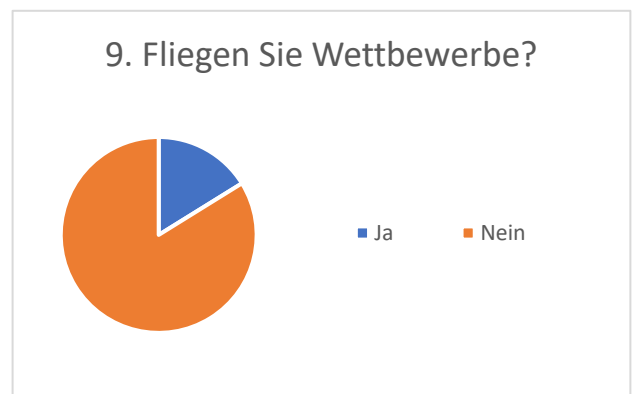


Abbildung 9: Erfahrung mit Wettbewerben

10. Wie lang fliegen Sie durchschnittlich an einem Flugtag?

Bei Abbildung 10 ist die durchschnittliche Flugdauer an einem Flugtag der Befragten veranschaulicht. Man kann erkennen, dass der grösste Teil der Piloten (43.71%) zwischen 4-6 Stunden pro Flugtag fliegt. Ein weiterer Teil von 36.25% fliegt 2-4 Stunden. 13.64% fliegt durchschnittlich zwischen 6-8 Stunden, während 5.33% pro Flugtag 1-2 Stunden fliegt. 1.07% fliegen unter einer Stunde pro Flugtag.

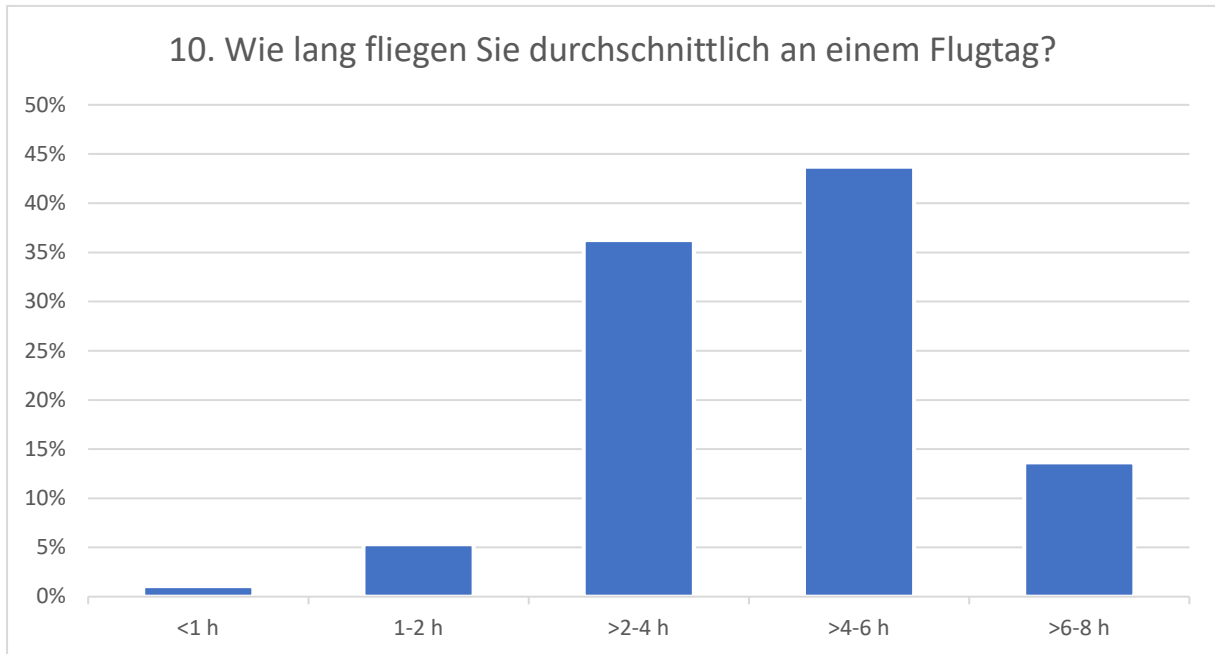


Abbildung 10: Durchschnittliche Flugdauer an einem Flugtag

3.3 Teil 3: Sauerstoffbenutzung

Der dritte Abschnitt der Umfrage (Teil 3) beschäftigte sich mit der Art und Weise wie mit dem zusätzlichen Sauerstoff während dem Flug umgegangen wird. Es wurde erfragt, wie oft die Segelfluggpiloten mit zusätzlichem Sauerstoff fliegen, welche Geräte sie zur Regulierung und Einnahme des zusätzlichen Sauerstoffs benutzen und ab welchem Zeitpunkt im Flug sie den zusätzlichen Sauerstoff verwenden. Auch interessierte, ob die Piloten den zusätzlichen Sauerstoff auf eine andere Art als Prävention von Sauerstoffmangel einsetzen.

11. Wie oft fliegen Sie mit zusätzlichem Sauerstoff?

In Abbildung 11 wird gezeigt, wie oft die Befragten Sauerstoff benutzen. Die Auswertung zeigt einen differenzierten Gebrauch von zusätzlichem Sauerstoff auf. Zirka ein Drittel der Befragten (35.23%) benutzen manchmal zusätzlichen Sauerstoff. 29.1% der Befragten fliegen oft mit zusätzlichem Sauerstoff. Ein Anteil von 18.82% der Teilnehmer benutzen immer Sauerstoff während dem Flug. Weitere 8.75% machten eigene Angaben, während 8.1% nie zusätzlichen Sauerstoff während dem Flug benutzen.

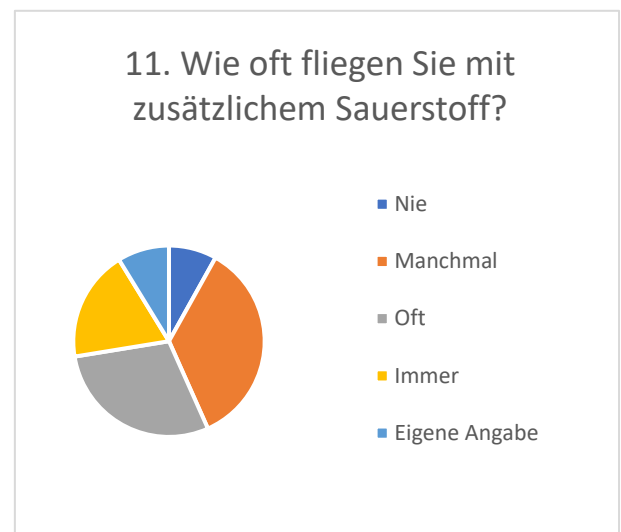


Abbildung 11: Häufigkeit der Anwendung von Sauerstoff

12. Wie nehmen Sie Sauerstoff während dem Flug auf?

Abbildung 12 zeigt, wie die Befragten den Sauerstoff während dem Flug zu sich nehmen. Die meistverbreitete Methode, zusätzlichen Sauerstoff aufzunehmen ist das EDS Sauerstoffregulierungsgerät mit Nasenkanülen. 91.67% der Piloten wenden diese Methode an. Ein Anteil von 5.92% der Befragten fliegt ohne eine Sauerstoffanlage im Segelflugzeug. Die Variante EDS Sauerstoffregulierungsgerät mit Maske ist mit 1.53% vertreten, während 0.88% noch eine mechanische Sauerstoffanlage besitzen.

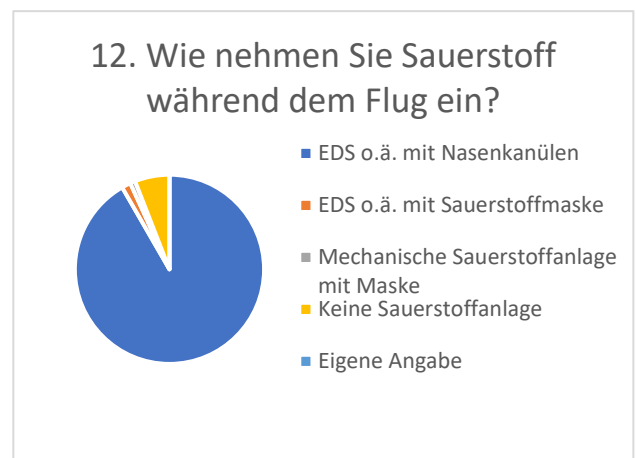


Abbildung 12: Art der Sauerstoffaufnahme

13. Ab wann im Flug benutzen Sie Sauerstoff?

In Abbildung 13 ist zu sehen, ab wann die Befragten zusätzlichen Sauerstoff zu sich nehmen. Etwas mehr als die Hälfte der Befragten (52.3%) aller Piloten, beantworteten diese Frage mit eigenen Angaben. Darauf wird anschliessend noch genauer in Abbildung 14 eingegangen. Ein Anteil von 27.41% nimmt zusätzlichen Sauerstoff von Anfang an ein. 10.67% nutzen den zusätzlichen Sauerstoff erst ab 4000 m. 6.28% der Befragten fliegt nicht mit Sauerstoff. Ein weiterer Anteil von 1.67% der Befragten greift erst zum Sauerstoff, wenn sie Sauerstoffmangelserscheinungen verspüren. Nochmals 1.67%, benützen zusätzlichen Sauerstoff, wenn sie eine Verschlechterung der Konzentration bemerken.

Die Befragten, die eigene Angaben machten (52.3%), gaben mit 46% an, dass sie zusätzlichen Sauerstoff ab einer Höhe von 3000 m einnehmen. Weitere 22% benutzen ab einer Höhe von 3500 m zusätzlichen Sauerstoff. 18% der Teilnehmer nehmen ab 2500 m zusätzlichen Sauerstoff ein. Ein kleinerer Anteil der Befragten, 7%, benutzt zusätzlichen Sauerstoff ab 2000 m, während ein weiterer Anteil von 7% ab 1500 m zusätzlichen Sauerstoff zu sich nimmt.

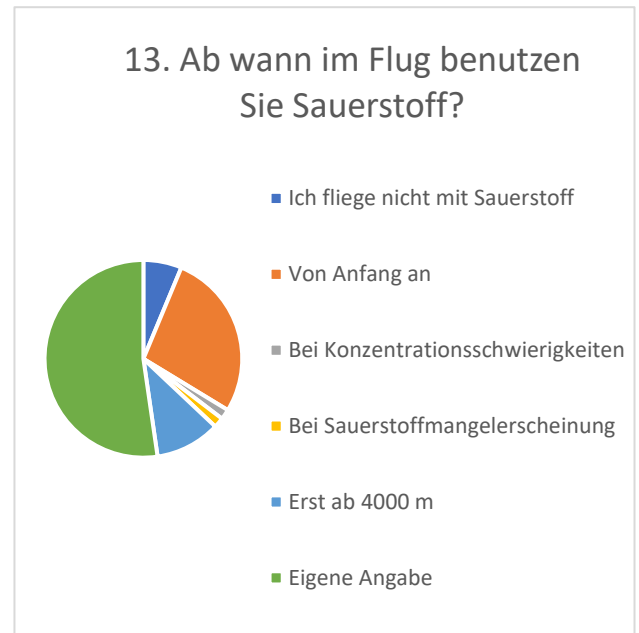


Abbildung 13: Sauerstoffbenutzung während dem Flug

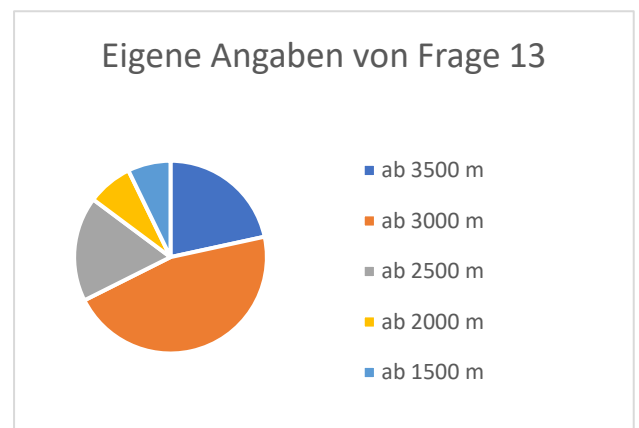


Abbildung 14: Sauerstoffbenutzung während dem Flug (Eigene Angabe)

14. Benutzen Sie zusätzlichen Sauerstoff auch anderweitig, als zur Prävention von Sauerstoffmangel? Wenn ja, wie bzw. wann?

Aussergewöhnlich war, dass diese Frage von 458 Teilnehmern übersprungen wurde. Die Frage wurde möglicherweise von den Teilnehmern nicht verstanden. Die Abbildung 15 zeigt die erfassten 38 Antworten. 42.11% davon verneinten die Frage. Ein Anteil von 18.43% der Teilnehmer antwortete mit «sobald die Konzentration nachlässt». Um Müdigkeit zu bekämpfen benutzen 15.79% Sauerstoff. 7.89% nehmen kurz vor der Landung zusätzlichen Sauerstoff zu sich, während 5.26% Kopfweg nach dem Flug mit Sauerstoff vermeiden wollen. 5.26% gaben an, dass das EDS Sauerstoffregulierungsgerät die Sauerstoffzufuhr für sie regelt. Ein Anteil von 2.63% benutzt an Wettbewerben Sauerstoff, während 2.63% für das bessere Erkennen anderer Flugzeuge Sauerstoff zu sich nimmt.

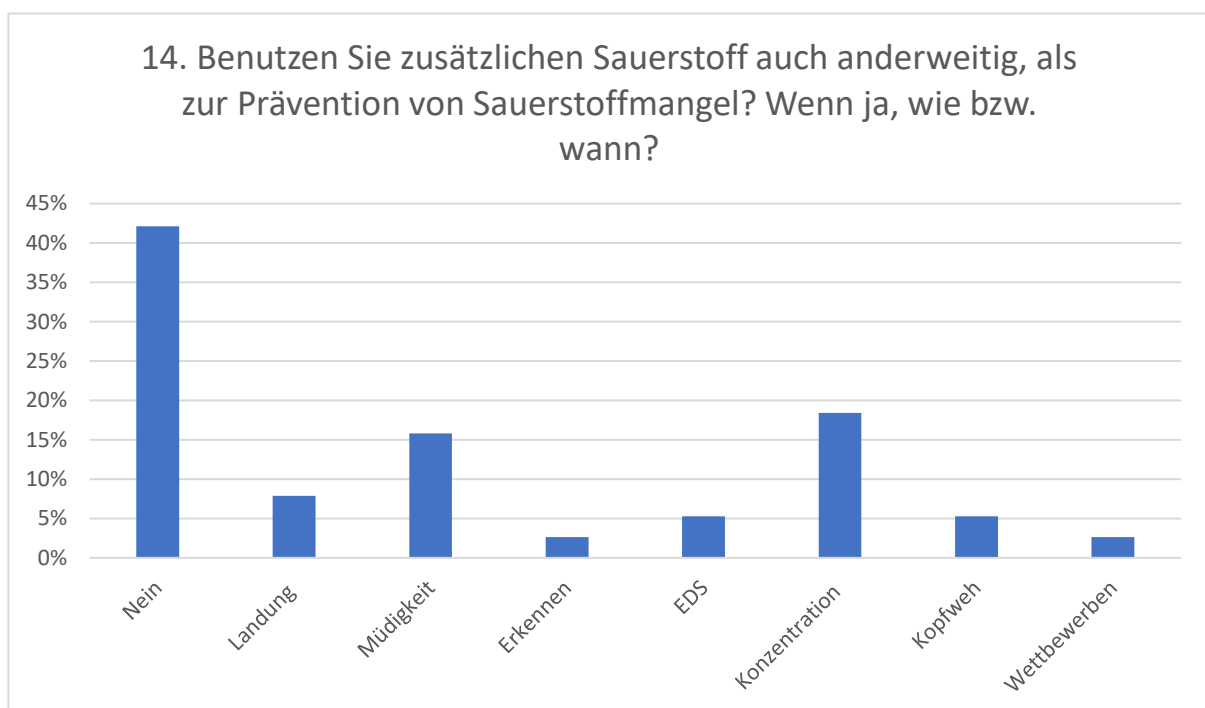


Abbildung 15: Weitere Gründe für die Benutzung von Sauerstoff

3.4 Teil 4: Symptome

Der vierte Teil der Umfrage enthielt Fragen, die sich vor allem auf die Unterschiede zwischen Sauerstoffzufuhr und keiner Sauerstoffzufuhr beziehen. Es wurde auf Unterschiede unter 4000 m, Vermutungen auf den Einfluss von zusätzlichem Sauerstoff auf die Aufmerksamkeit und Konzentration sowie beobachtete Symptome über und unter 3000 m eingegangen.

15. Merken Sie einen Unterschied bezüglich Ihrer Aufmerksamkeit und Konzentration, wenn Sie unter 4000 m mit, anstatt ohne Sauerstoff fliegen?

In Abbildung 16 sind die Beobachtungen der Befragten bezüglich der Auswirkung von zusätzlichem Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m veranschaulicht. Es ist klar zu erkennen, dass zwei Drittel der Befragten (66.97%) eine Verbesserung ihrer Aufmerksamkeit und Konzentration beobachten können. Jedoch bemerken 19.59% keinen Unterschied. 7.29% der Befragten benützt keinen Sauerstoff unter 4000 m und konnten folglich keinen Vergleich machen. Ein Anteil von 3.42% machte eigene Angaben. Eine Verschlechterung der Aufmerksamkeit und der Konzentration konnten 2.73% der Befragten beobachten.

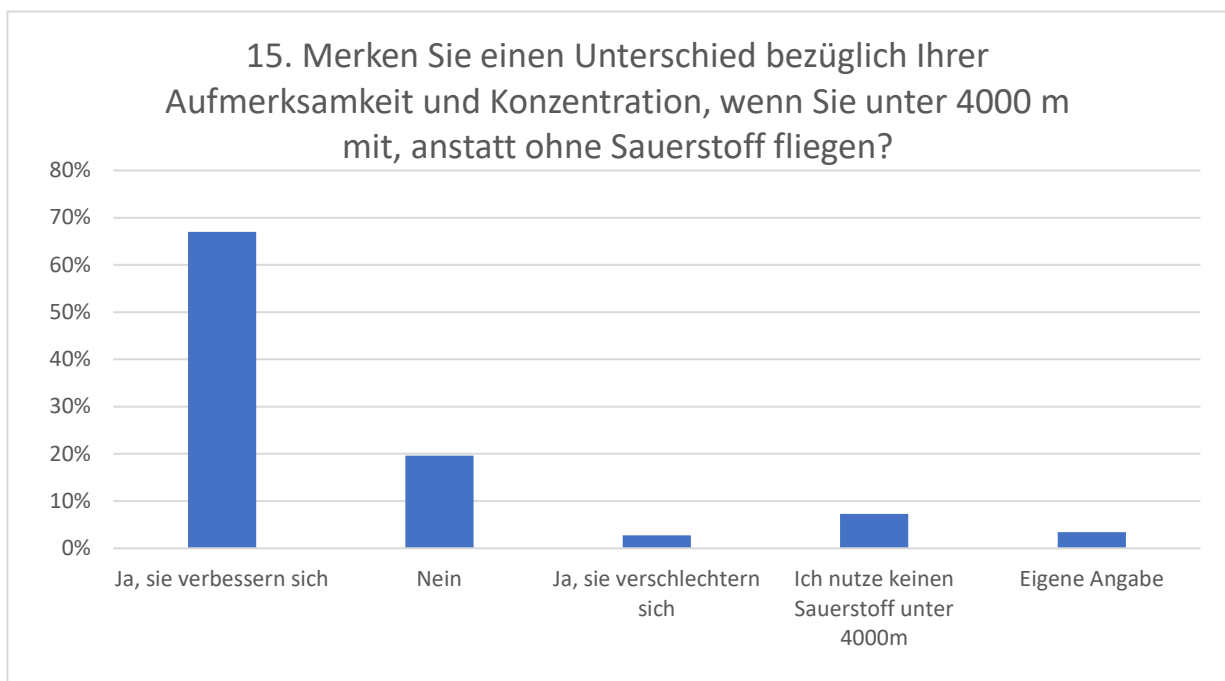


Abbildung 16: Die Auswirkung von zusätzlichem Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m

16. Was denken Sie, wie sich zusätzlicher Sauerstoff, besonders bei längeren Flügen, auf Ihre Konzentration und Aufmerksamkeit auswirkt?

Abbildung 17 zeigt die Vermutungen der Befragten in Bezug auf die Frage 16. Etwas mehr als die Hälfte der Befragten (52.86%) vermutet eine Erhaltung der Konzentration und Aufmerksamkeit, während 28.63% sogar eine Förderung annimmt. Weitere 9.47% vermuten, dass sich zusätzlicher Sauerstoff als konzentrations- und aufmerksamssteigernd auswirkt. 6.17% tippen auf keine positiven Effekte von zusätzlichem Sauerstoff, da zusätzlicher Sauerstoff nur zur Prävention von Sauerstoffmangel dient. Ein Anteil von 2.87% der Befragten machte eigene Angaben.

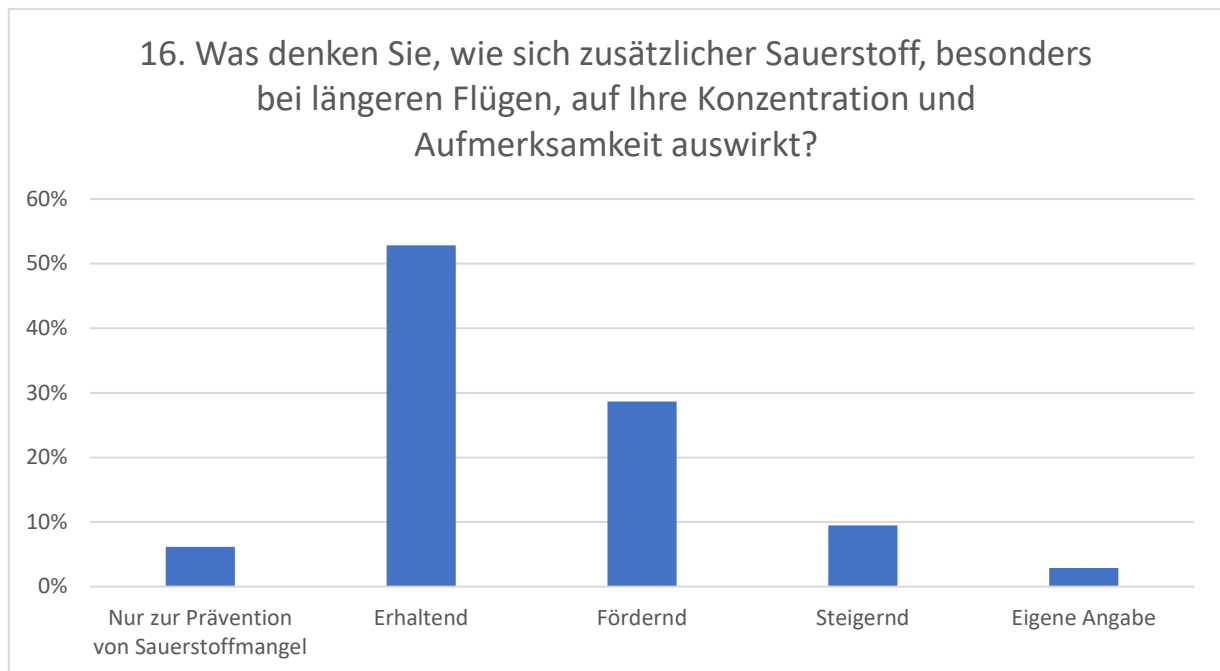


Abbildung 17: Vermutungen über die Auswirkung von zusätzlichem Sauerstoff auf die Konzentration und Aufmerksamkeit

17. Hatten Sie während eines längeren Fluges (>3 h) über 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff schon eines/mehrere der untenstehenden Symptome?

Bei dieser Frage konnte der Teilnehmer mehrere Antworten geben. Die Summe der angegebenen Prozentsätze aller Antwortoptionen ergeben daher mehr als 100%. Die Fragestellung wurde von 263 Teilnehmenden (53.02%) beantwortet. 165 Teilnehmende (33.27%) hingegen wählten «Keine der angebotenen Antworten» beziehungsweise 68 Befragte (13.71%) übersprangen die Frage 17. Insgesamt haben somit 46.98% keine Symptome angegeben.

Abbildung 18 zeigt, dass die meistgewählte Antwortoption «Gelegentlich Mühe sich voll zu konzentrieren» lautete. Für 62.74% der Teilnehmenden passte diese Auswahloption. Die Antwort «Gelegentlich Mühe sich weiter zur Leistung zu motivieren» wurde mit 34.60% als zweithäufigste Antwortoption gewählt. Weitere 32.32% gaben eigene Angaben an. 15.97% der Befragten konnten Sekundenschlaf als Symptom beobachten.

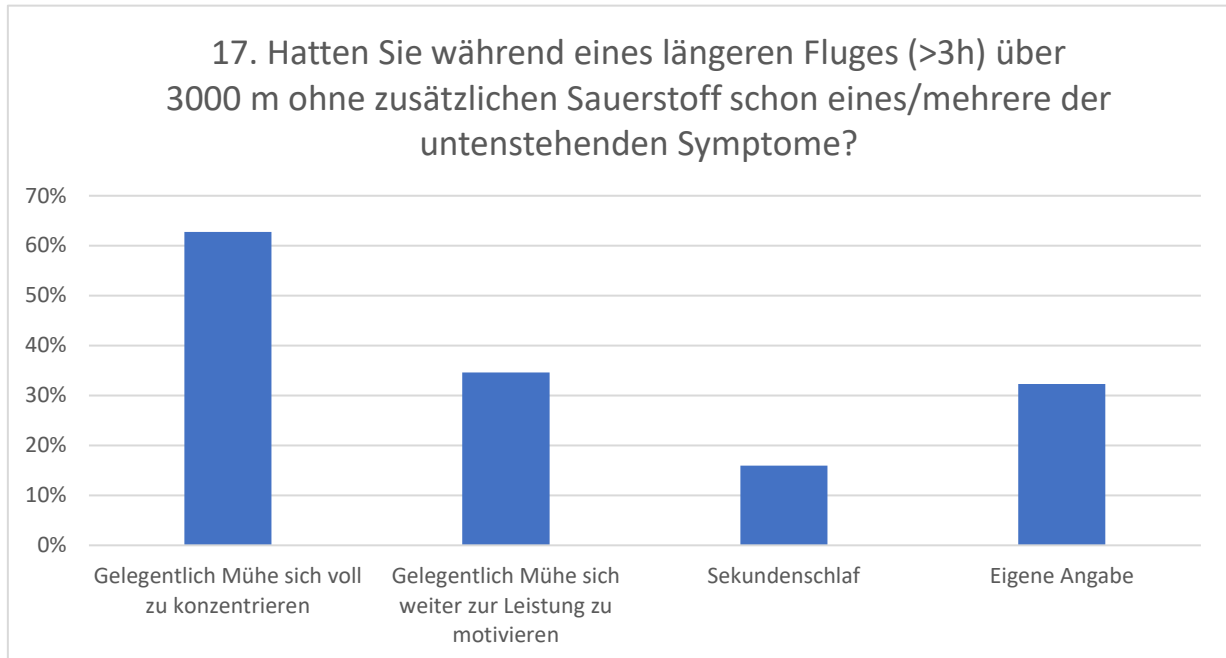


Abbildung 18: Beobachtete Symptome bei einem Flug über 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

Von den Antworten mit eigenen Angaben (43.59%) sprachen über die Hälfte der Personen (58.82%) Kopfschmerzen an, die nach einem Flug ohne zusätzlichen Sauerstoff über 3000 m auftraten. Weitere 29.41% erwähnten verstärkte Müdigkeit, wenn kein zusätzlicher Sauerstoff bei einem Flug über 3000 m benutzt wurde. Einige wenige Personen erwähnten Nervosität, Kälteerscheinungen an Füßen und Händen, Schwindel, Kribbeln in den Fingerspitzen und vermindertes Farbsehen.

18. Hatten Sie während eines längeren Fluges (>3 h) unter 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff schon eines/mehrere der untenstehenden Symptome?

Bei dieser Frage konnte der Teilnehmer ebenfalls mehrere Antworten angeben. Die Summe der angegebenen Prozentsätze aller Fragen ergeben daher wieder mehr als 100%. Die Fragestellung wurde von 178 Teilnehmenden (35.89%) beantwortet. 245 Befragte (49.4%) hingegen wählten «Keine der oben genannten Antworten» und 73 Befragte (14.71%) übersprangen die Frage 18. Insgesamt haben somit 64.11% keine Symptome angegeben.

Abbildung 19 zeigt deutlich, dass die Antwortoption «Gelegentlich Mühe sich voll zu konzentrieren» von 64.05% der Befragten gewählt wurde. Diese Antwortoption ist mit Abstand die meistgewählte. Ein

Anteil von 41.57% antwortete «Gelegentlich Mühe sich weiter zur Leistung zu motivieren». 16.85% der Teilnehmenden konnten Sekundenschlaf beobachten. Weitere 15.73% gaben eigene Angaben an.

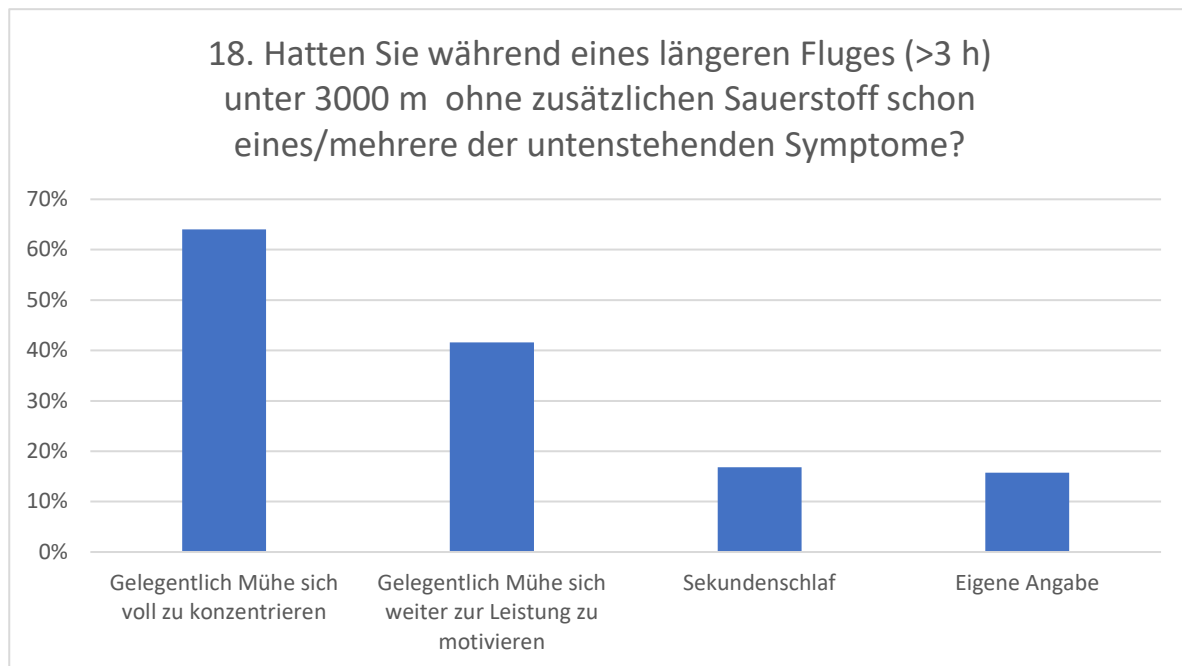


Abbildung 19: Beobachtete Symptome bei einem Flug unter 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

Beobachtete Symptome bei den eigenen Angaben waren bei 42.86% der Befragten Müdigkeit, die verstärkt während dem Flug auftrat, falls kein zusätzlicher Sauerstoff unter einer Höhe von 3000 m eingenommen wurde. Weitere 39.29% wiesen auf Kopfschmerzen hin, die nach einem Flug ohne Sauerstoff beobachtet wurden. Ebenso nahm ein kleiner Teil der befragten Personen Kälteerscheinungen an Händen und Füßen, Übelkeit und hohe Temperaturen wahr.

3.5 Vergleich von Fragestellungen

In diesem Kapitel werden nun einzelne Antwortgruppen der Umfrage zusammengefasst und nach verschiedenen Aspekten miteinander verglichen. Beleuchtet werden der Effekt des Alters der Befragten, die Auswirkung von Flugerfahrung, der Einfluss vom Rauchen und vom Sportverhalten auf die Entstehung von allfälligen Symptomen aufgrund von Sauerstoffmangel während dem Flug. Da in diesem Abschnitt vor allem der Effekt von Sauerstoff auf die Aufmerksamkeit und Konzentration beleuchtet wird, wird auf die eigenen Angaben (jeweils unter Sonstiges) nicht weiter eingegangen.

3.5.1 Vergleich der Altersgruppen

Hier werden die Altersgruppen 14-18 Jahre, 19-25 Jahre, 26-40 Jahre, 41-60 Jahre, 61-80 Jahre und 81-100 Jahre aus Frage 1 miteinander verglichen und mit deren Antworten auf die Fragen 11, 15, 17 und 18 betrachtet. In Abbildung 1 ist zu erkennen, dass die Altersgruppen 14-18 Jahre mit 2.45%

(12 Teilnehmer) und 81-100 Jahre mit 1.02% (5 Teilnehmer) nicht stark vertreten sind. Es ist somit eine gewisse Unsicherheit mit deren Vergleichen verbunden.

In Abbildung 20 wird gezeigt, wie häufig die verschiedenen Altersgruppen mit zusätzlichem Sauerstoff fliegen. Es ist zu erkennen, dass die Altersgruppe von 14-18 Jahren nie oder manchmal mit zusätzlichem Sauerstoff fliegt. Die Altersgruppe 81-100 Jahre hingegen hat einen Anteil von 60%, die immer mit zusätzlichem Sauerstoff fliegen. Es ist klar erkennbar, dass ältere Personen im Vergleich zu den jüngeren wesentlich häufiger zusätzlichen Sauerstoff nutzen.

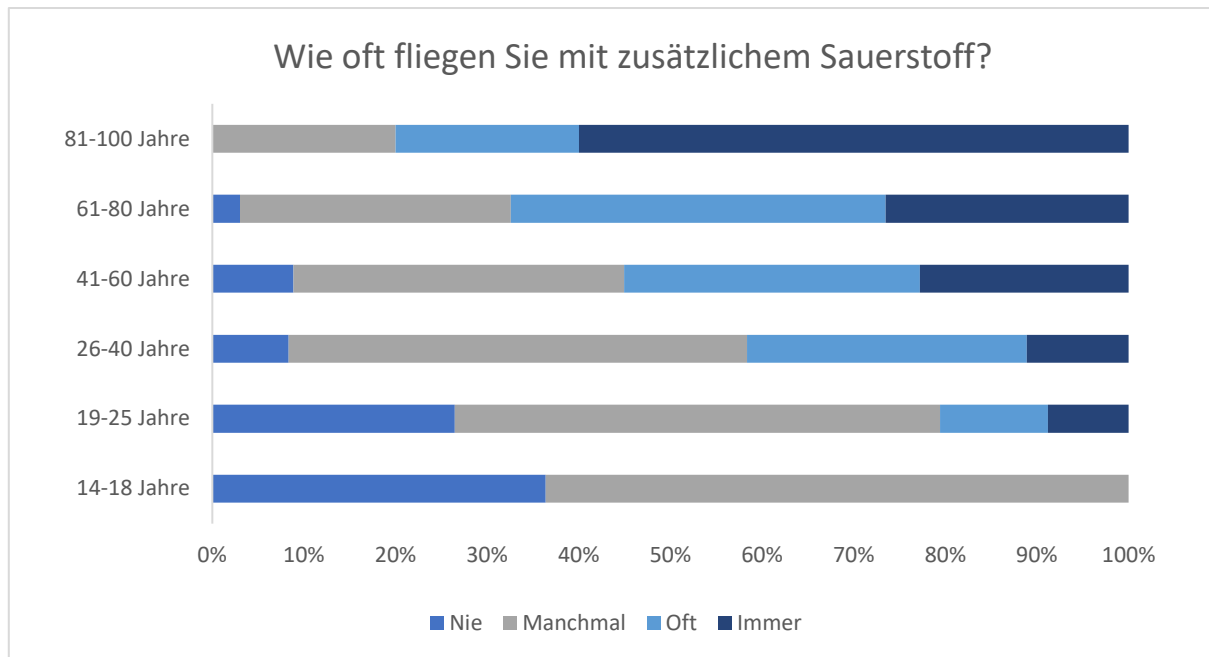


Abbildung 20: Vergleich zwischen den verschiedenen Altersgruppen und der Häufigkeit der Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff während dem Flug

Auch Abbildung 21 zeigt Unterschiede zwischen den Altersgruppen bezüglich der Aufmerksamkeit und der Konzentration. Wurde bereits unter einer Höhe von 4000 m mit Sauerstoff geflogen, bemerkten die jüngeren Altersgruppen keine spürbaren Verbesserungen. Je nach Altersgruppe schwankte diese Aussagegruppe zwischen 9.7% und 27.3%. Je älter die Piloten jedoch sind, desto häufiger bemerkten sie eine Verbesserung mit Sauerstoff. In der Altersgruppe 81-100 gaben gar 100% der Piloten an, dass sie eine Verbesserung mit Sauerstoff beim Fliegen unter 4000 m erkannten.

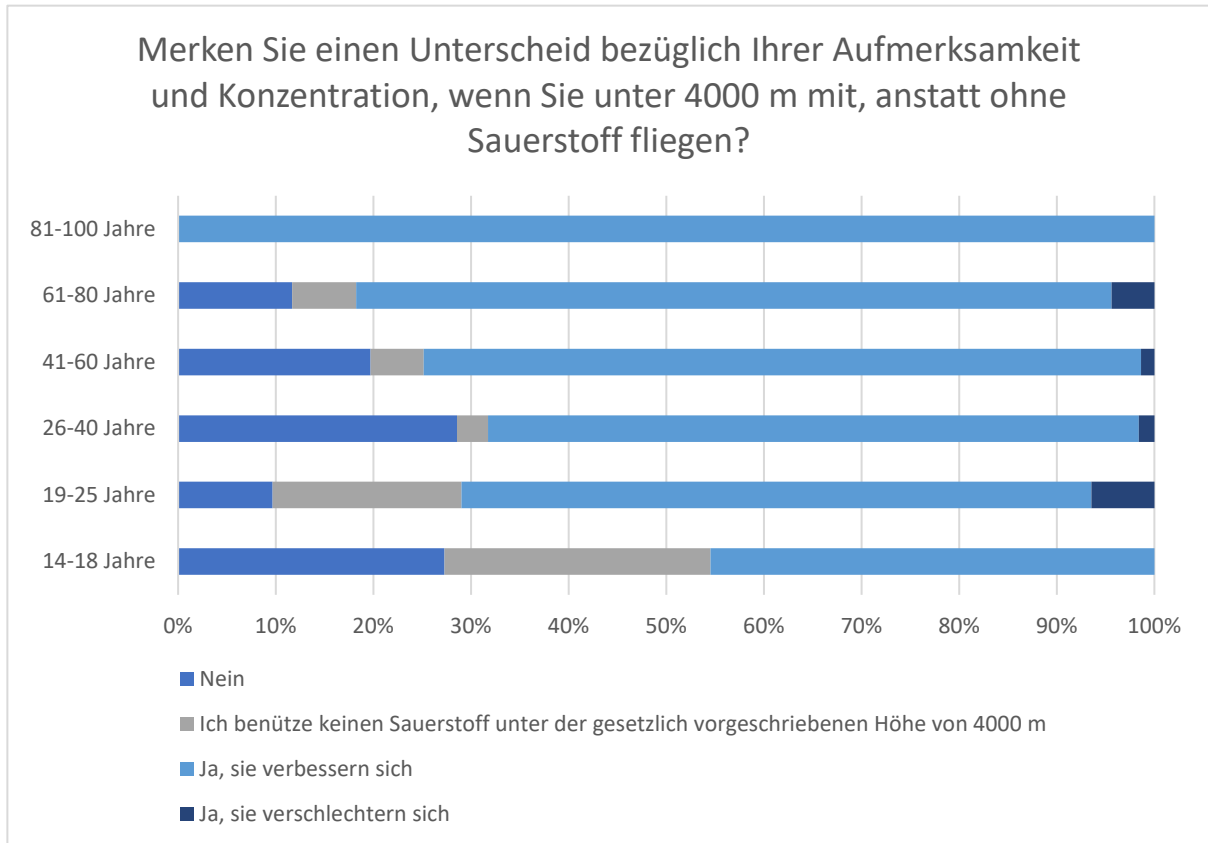


Abbildung 21: Vergleich zwischen den Altersgruppen und Beobachtungen bezüglich der Aufmerksamkeit und Konzentration in einem Flug unter 4000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

Wie auch in Abbildung 20 ist hier ebenfalls ein klarer Trend zu erkennen. Ältere Altersgruppen beobachten häufiger eine Verbesserung ihrer Aufmerksamkeit und Konzentration durch die Anwendung von Sauerstoff als jüngere Piloten.

Beim folgenden Vergleich werden nun weitere Symptome in einen Zusammenhang mit dem Alter gebracht. Hierbei handelt es sich um längere Flüge bei einer Flughöhe über 3000 m. Die Piloten flogen ohne Sauerstoff.

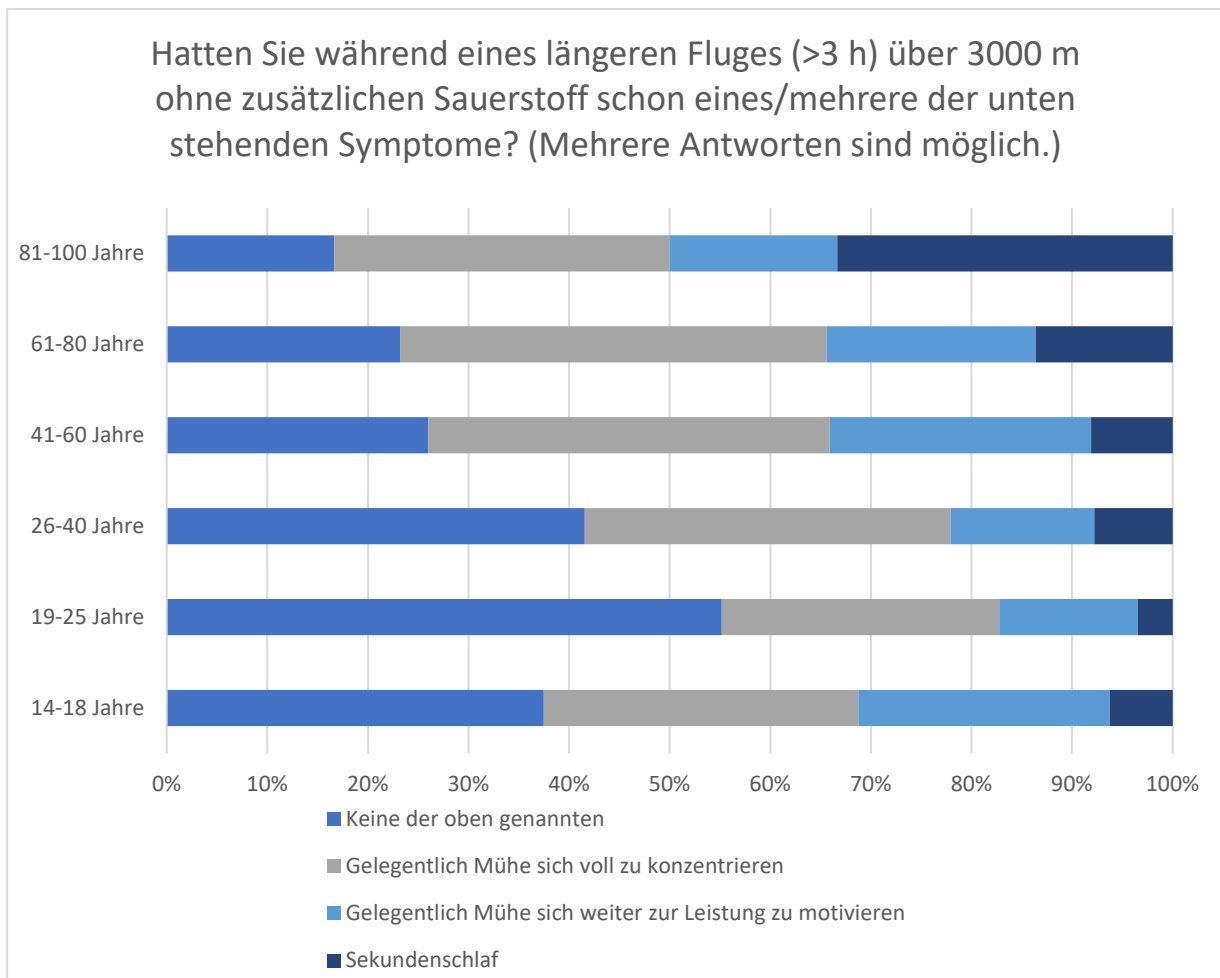


Abbildung 22: Vergleich zwischen den Altersgruppen und den Beobachtungen über einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

Sowohl in Abbildung 22 als auch in Abbildung 23 ist ganz klar erkennbar, dass bei den jüngeren Altersgruppen wesentlich weniger oder gar keine Symptome verspürt werden, als bei den älteren Altersgruppen. Konkret erkannten 35-55% der Piloten der jüngeren Altersgruppen (14 bis 40 Jahre) keine Symptome unter den gegebenen Umständen. Dieselben Beobachtungen sind in den Altersgruppen von 41-100 Jahre nur noch um die 15-25% vertreten.

Die Anzahl an Piloten, die Mühe haben sich voll zu konzentrieren, sind jedoch bei allen Altersgruppen gleich stark vertreten. Ähnlich viele Piloten hatten gelegentlich Mühe sich zu weiteren Leistungen zu motivieren. Der Sekundenschlaf wurde bei allen Altersgruppen zirka gleich oft beobachtet, steigt jedoch bei der Altersgruppe 81-100 Jahre drastisch an.

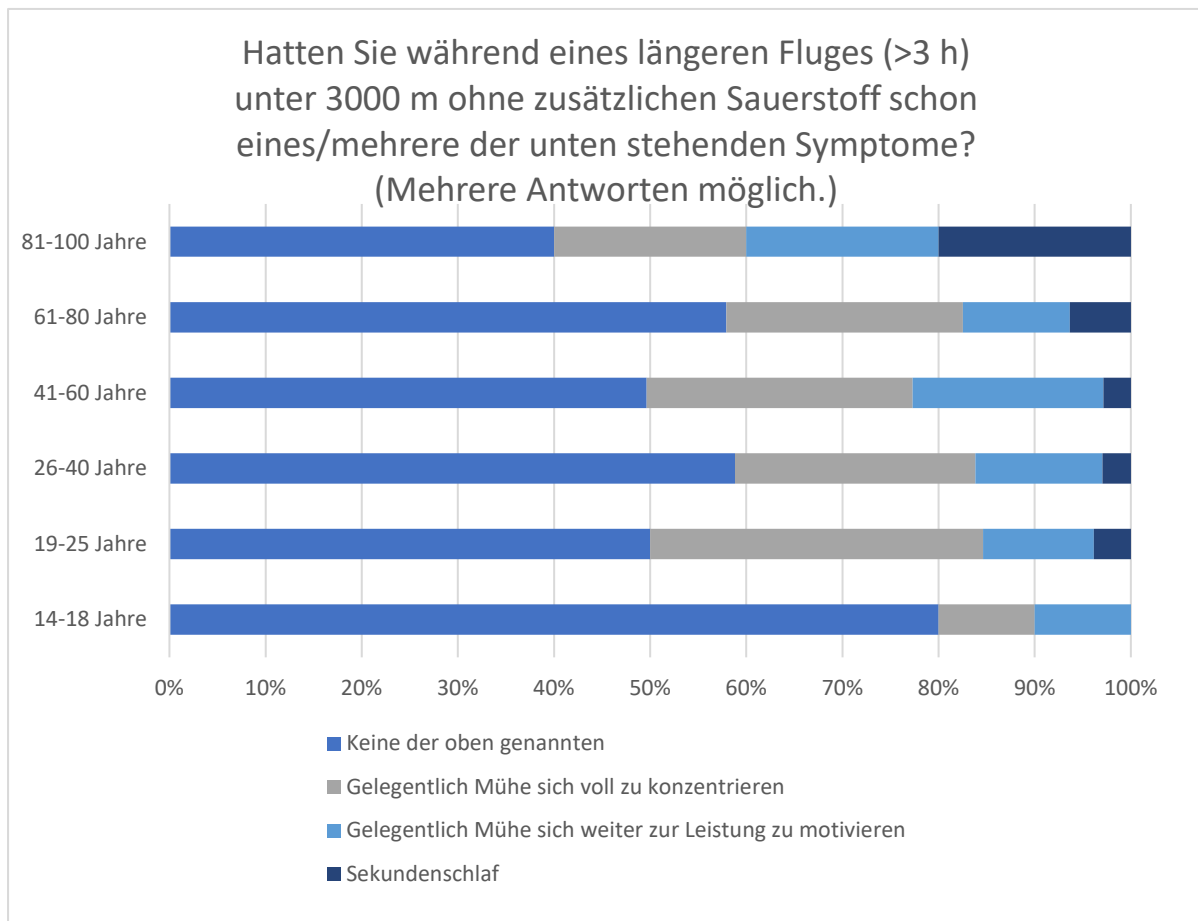


Abbildung 23: Vergleich zwischen den Altersgruppen und den Beobachtungen unter einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

Bei Abbildung 23 ist zu erkennen, dass in allen Altersgruppen weniger Personen Symptome feststellen konnten. Die Altersgruppe 14-18 Jahre, die keine Symptome feststellen konnte, sticht mit einem Anteil von 80% besonders heraus. Wie in Abbildung 22 ist der Anteil, der gelegentlich Mühe hat sich voll zu konzentrieren, in allen Altersgruppen etwa gleich stark vertreten. Dasselbe gilt wieder für die Mühe, sich zu weiteren Leistungen zu motivieren. Auch der Sekundenschlaf ist ähnlich verteilt wie in Abbildung 22. Die Altersgruppe 81-100 Jahre hat einen Anstieg der Beobachtungen von Symptomen im Gegensatz zu den anderen Altersgruppen.

3.5.2 Der Einfluss der sportlichen Aktivität

In diesem Abschnitt werden die Aussagen zu sportlichen Aktivitäten pro Woche, wie «keinen Sport», «weniger als 1 Stunde», «1-3 Stunden», «zwischen 3-5 Stunden» und «>5 Stunden» aus Frage 3 mit den Antworten auf die Fragen 15, 17 und 18 verknüpft.

Der folgende Vergleich zeigt, inwieweit sportliche Aktivität einen möglichen Einfluss auf Konzentration und Aufmerksamkeit unter einer Flughöhe von 4000 m hat, wenn mit Sauerstoff geflogen wurde.

Wie in Abbildung 24 ersichtlich ist, bemerken alle Sportgruppen in etwa gleich grossen Anteilen, dass sie mit Sauerstoffzufuhr keinen Unterschied feststellen konnten. Die Werte der einzelnen Sportgruppen bewegt sich zwischen 14% und 25%. Die Beobachtungen, dass sich die Konzentration und Aufmerksamkeit mit Sauerstoff verändern würde, wurde ebenso unabhängig von der sportlichen Tätigkeit ähnlich befürwortet. Die Anteile der einzelnen Sportgruppen bewegen sich zwischen 68% und 74%. Generell ist in Abbildung 24 zu erkennen, dass sich das Antwortverhalten aller Piloten ähnlich verhält, unabhängig von ihrer sportlichen Aktivität.

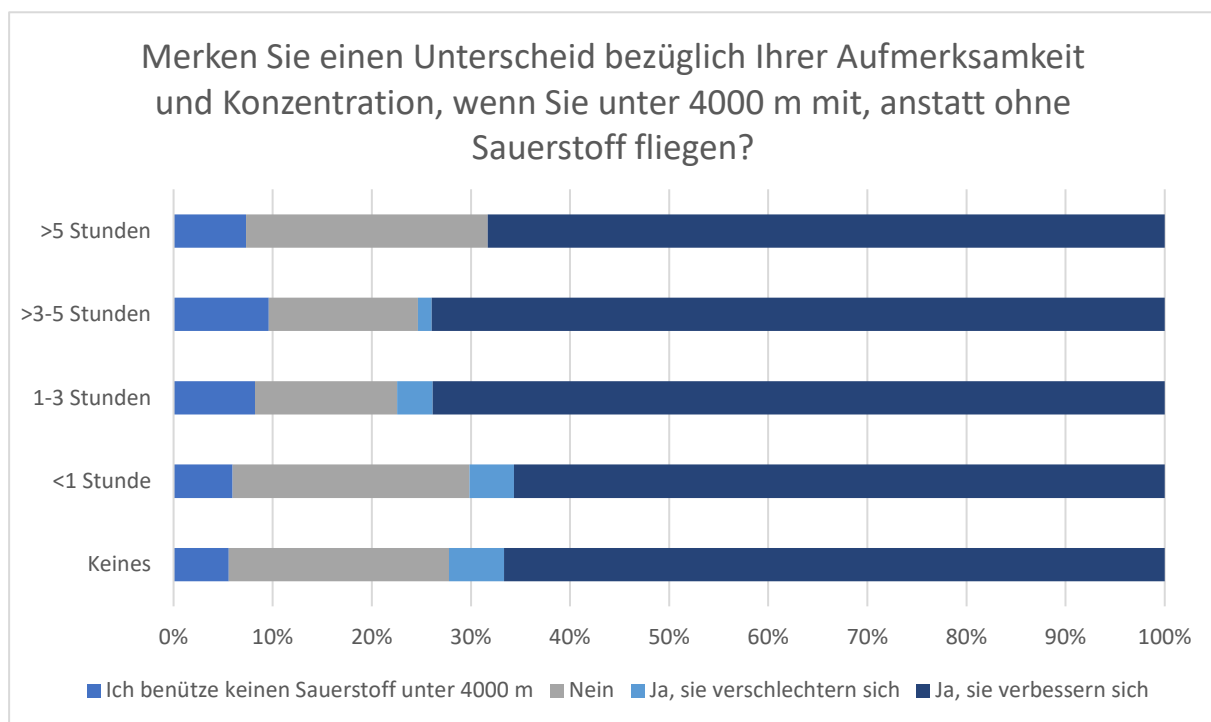


Abbildung 24: Vergleich zwischen den Sportgruppen und den Beobachtungen unter einer Höhe von 4000 m

Ähnliche Beobachtungen können auch bei einer Flughöhe über 3000 m in Abbildung 25 ohne Anwendung von zusätzlichem Sauerstoff gemacht werden. Die Piloten aller Sportgruppen antworteten mit ähnlichem Verhalten. Das heisst, auch hier zeigt die sportliche Aktivität keine grossen Unterschiede auf beobachtbare Symptome.

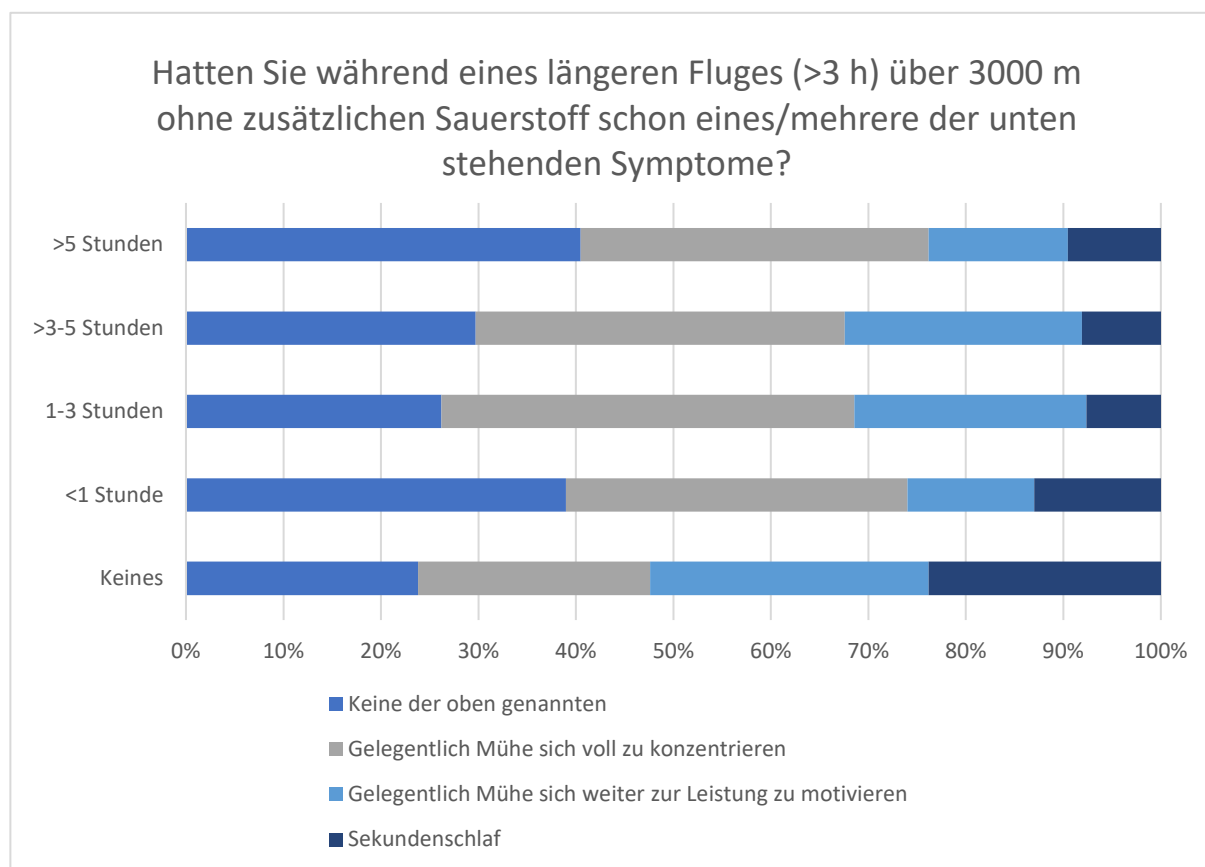


Abbildung 25: Vergleich zwischen den Sportgruppen und den Beobachtungen über einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

Ein anderes Antwortverhalten ist bei beobachteten Symptomen unter 3000 m in Abbildung 26 ohne zusätzlichem Sauerstoff ersichtlich. Hier ist klar ersichtlich, dass die Sportgruppe «>5 Stunden» mehrheitlich keine Symptome entwickelte. Dieser Anteil beträgt 66.67%. Bei den anderen Sportgruppen hingegen bemerkten bloss 36% bis 55% keine Symptome ohne Sauerstoffzufuhr. Weitere Besonderheiten sind in Abbildung 26 keine zu sehen.

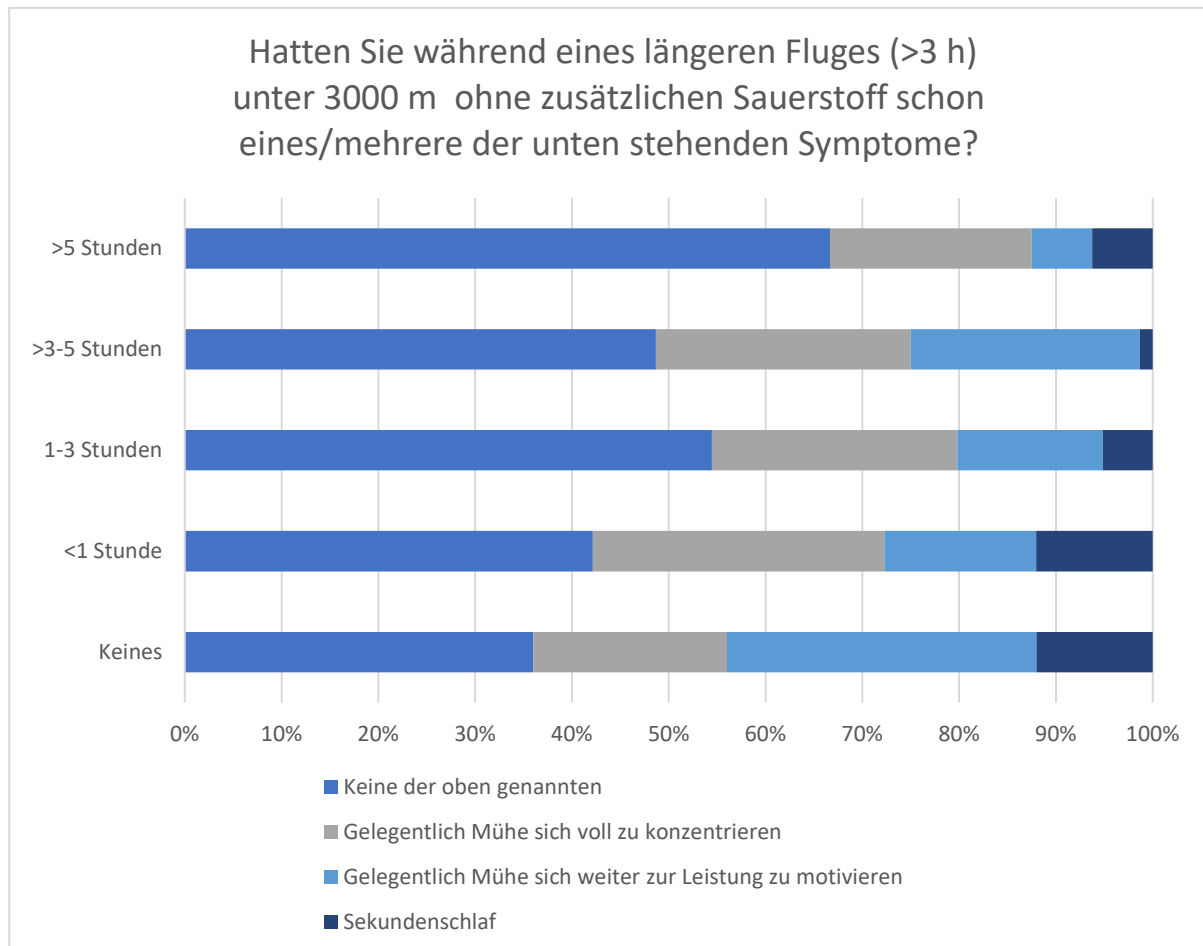


Abbildung 26: Vergleich zwischen den Sportgruppen und den Beobachtungen unter einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

3.5.3 Vergleich von Rauchern und Nichtrauchern

In diesem Abschnitt werden die beiden Gruppen der Raucher und Nichtraucher in Verbindung mit den Fragen 11, 15, 17 und 18 gegenübergestellt.

Abbildung 27 zeigt einen Vergleich der Häufigkeit, mit welcher beide Gruppen mit Sauerstoff fliegen. Hierbei ist erkennbar, dass die Gruppe der Raucher einen kleineren Anteil an Piloten haben, die nie mit Sauerstoff fliegen. Er beträgt 3.03%. Bei den Nichtrauchern liegt dieser Anteil bei 9.5%. Bei der Gruppe der Raucher ist auch der Anteil an Piloten, der stets mit Sauerstoff fliegt höher als bei den Nichtrauchern. Es ist daher erkennbar, dass Raucher tendenziell öfter mit Sauerstoff fliegen als Nichtraucher. Die Unterschiede in beiden Gruppen sind jedoch gering.

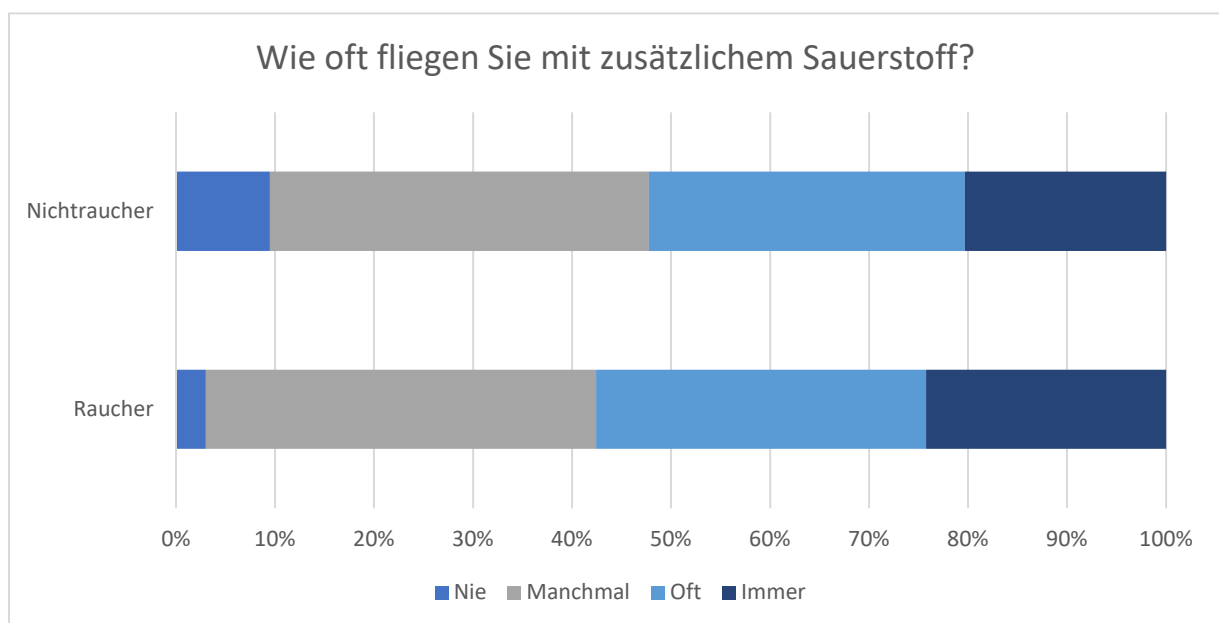


Abbildung 27: Vergleich zwischen Rauchern und Nichtrauchern bei der Benutzung von Sauerstoff

Ein ebenso ähnliches Antwortverhalten wurde im Zusammenhang mit Aufmerksamkeit und Konzentration unter 4000 m mit Anwendung von Sauerstoff erkannt. Abbildung 28 zeigt, dass bei der Gruppe der Raucher ein Anteil von 74.19% eine Verbesserung der Aufmerksamkeit und Konzentration beobachten konnten. Bei den Nichtraucher ist der Anteil um 2.68% kleiner und beträgt 71.51%. Auch der Anteil der Piloten, die keinen Unterschied feststellen konnten, ist bei den Raucher kleiner als bei den Nichtrauchern. Allerdings handelt es sich hier nur um einen geringen Unterschied von 4.91%. Abbildung 28 zeigt, dass die Gruppe der Raucher im Vorteil war, wenn sie Sauerstoff anwendete und dadurch ihre Konzentration und Aufmerksamkeit steigern konnte.

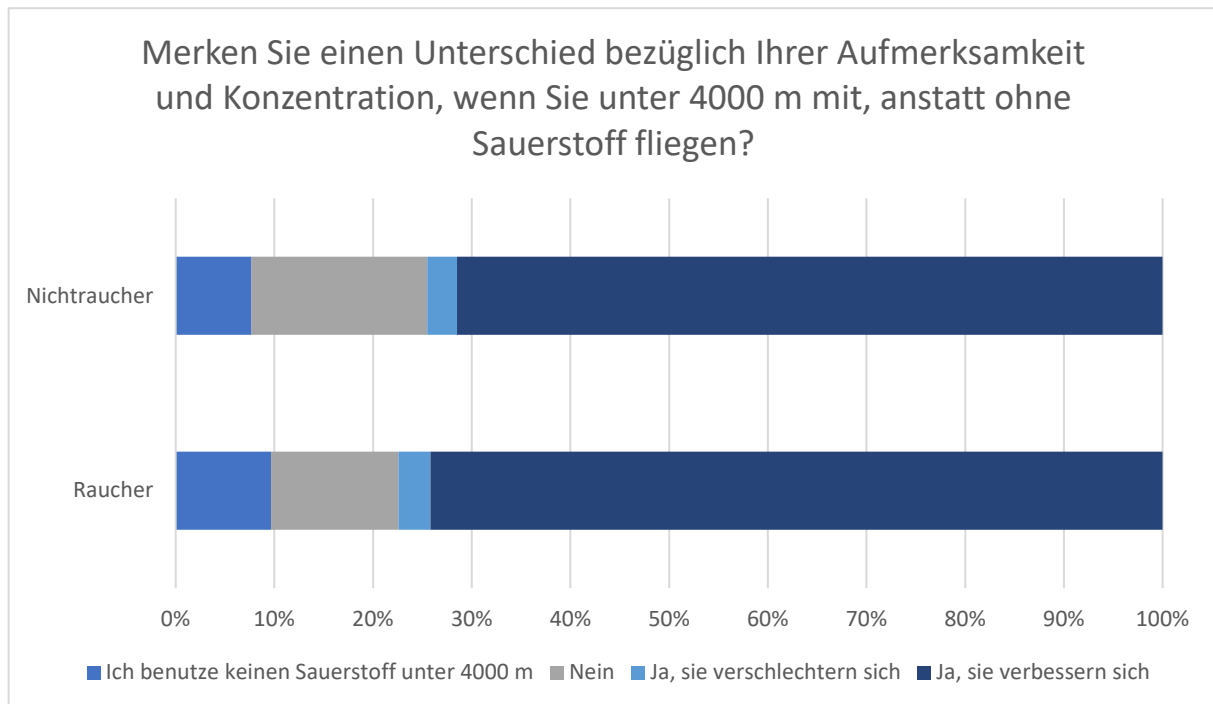


Abbildung 28: Unterschiede beider Gruppen Raucher und Nichtraucher bezüglich Aufmerksamkeit und Konzentration bei der Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff unter 4000 m

Im folgenden Vergleich werden auftretende Symptome bei einem Flug über 3000 m ohne Anwendung von Sauerstoff beider Gruppen verglichen. Es zeigt sich nur ein kleiner Unterschied zwischen den beiden Gruppen Raucher und Nichtraucher. Abbildung 29 lässt erkennen, dass zirka gleich viele Piloten der Gruppe Raucher keine Symptome beim Fliegen bemerken wie bei der Gruppe der Nichtraucher. Auch meldete die Gruppe der Raucher, dass sie weniger das Problem hatten, sich während dem Flug zu konzentrieren. Bei den Symptomen Motivationsabfall und Sekundenschlaf zeigte die Gruppe der Raucher höhere Werte an. Die Unterschiede zur Vergleichsgruppe betrug bei der Motivation 7.96% und ein Sekundenschlaf kam um 4.74% häufiger bei den Rauchern als bei den Nichtrauchern vor. Generell

kann ein geringer Vorteil der Gruppe der Nichtraucher erkannt werden, die weniger Symptome während eines Fluges über 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff entwickelten.

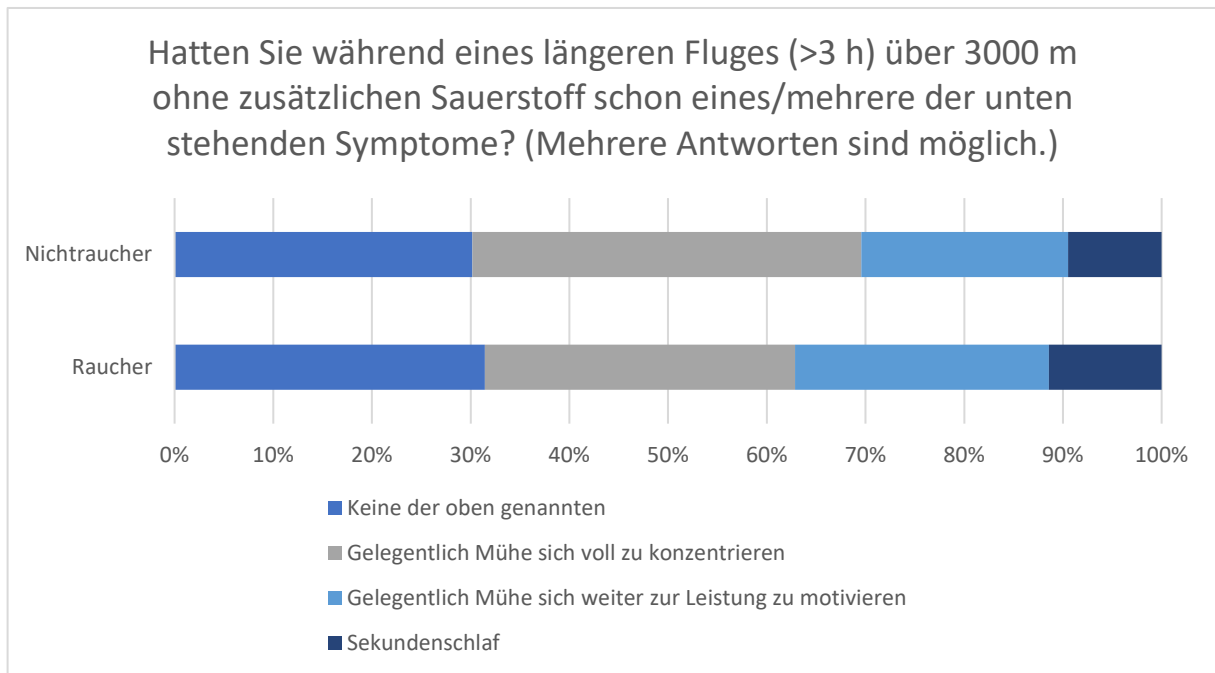


Abbildung 29: Symptome während eines längeren Fluges (>3 h) über 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff

Auch bei einem Flug unter 3000 m ohne zusätzlichem Sauerstoff ist ähnliches Verhalten der Gruppen Raucher und Nichtraucher zu sehen. Auch hier sind keine gravierenden Unterschiede feststellbar. Gemäss Abbildung 30 kann ein geringer Vorteil der Nichtraucher erkannt werden, da sie weniger Symptome ohne Sauerstoff auch unter einer Höhe von 3000 m zeigen.

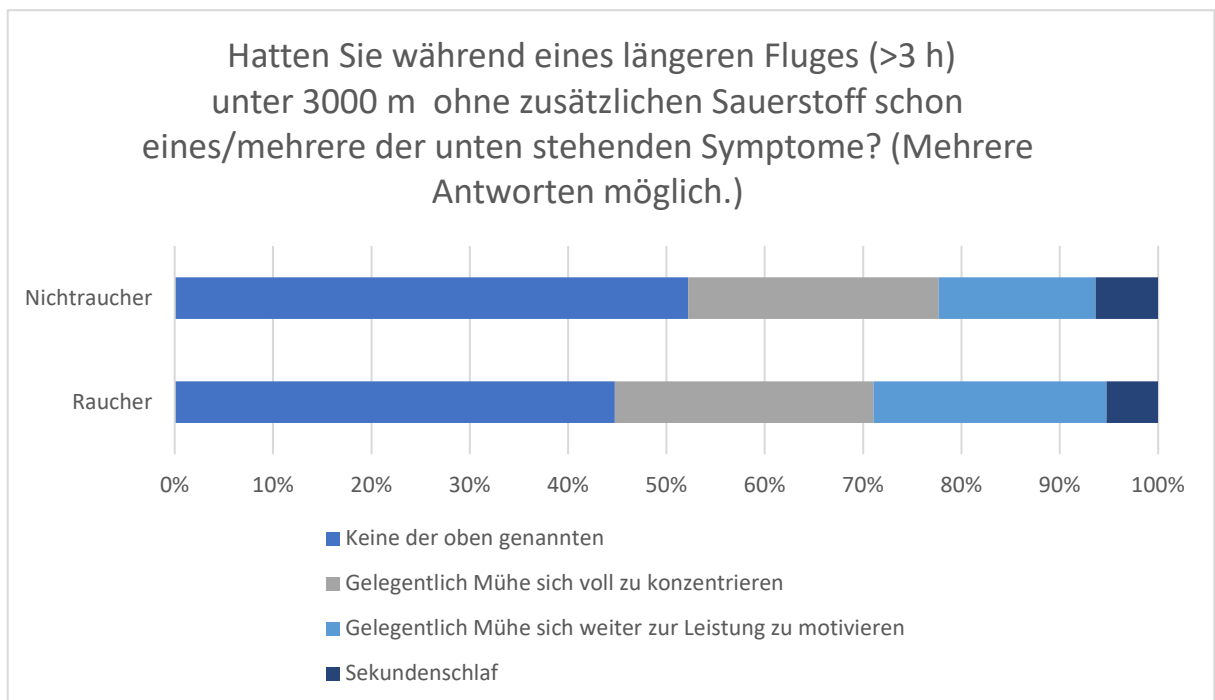


Abbildung 30: Vergleich zwischen Rauchern und Nichtrauchern beim Beobachten von Symptomen unter 3000 m

4 Resultate Experiment

Wie bereits in Kapitel 2.2.2 erwähnt, sollten nun mit dem Experiment Trends aus der Umfrage untersucht werden.

Geplant war das Experiment mit neun Probanden, die sich bereit erklärt hatten, je einen Streckenflug mit Experimentauflagen durchzuführen. Hierfür wurden drei Altersgruppen mit je drei Probanden definiert. Aufgrund einer lang anhaltenden Schlechtwetterphase von März bis Juni 2021, sowie in der Sommerferienzeit Juli und August 2021, konnten leider nur fünf Streckenflüge durchgeführt werden.

Schlussendlich nahmen drei Probanden der Altersgruppe 14-25 Jahre teil, ein Proband gehörte der Altersgruppe 26-60 Jahre an und der fünfte Proband konnte der Altersgruppe 61-100 Jahre zugewiesen werden. Die Namen der Probanden werden aus Datenschutzgründen nicht erwähnt. Sie werden als Proband 1, Proband 2, Proband 3, Proband 4 und Proband 5 bezeichnet. Proband 1, 2 und 3 sind aus der Altersgruppe 14-25 Jahre, Proband 4 aus der Altersgruppe 26-60 Jahre und Proband 5 aus der Altersgruppe 61-100 Jahre. Die Rechenaufgaben wurden während dem Flug in Blöcken von je 13 Rechenaufgaben gestellt. Es ist zu bemerken, dass die Rechenblöcke 1, 3 und 5 immer mit Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff gerechnet wurden und die Rechenaufgaben der Blöcke 2, 4 und 6 ohne Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff. Im Folgenden werden die Ergebnisse der fünf Probanden beschrieben.

4.1 Proband 1

Im folgenden Abschnitt wird die Rechendauer der verschiedenen Blöcke des Probanden 1 untersucht. Dafür wurde pro Block eine Durchschnittszeit zum Lösen einer Aufgabe errechnet. In Abbildung 31 sind die durchschnittlichen Zeiten von Proband 1 für eine Aufgabe pro Block dargestellt. Es wurden nur Rechenaufgaben von fünf Blöcken gerechnet. Zur Zeit des sechsten Rechenblocks befand sich der Pilot in der Landephase und die Sicherheit beider Piloten sollte nicht gefährdet werden. Proband 1 hatte während dem Flug eine Maximalhöhe von 2329 m und die Flugdauer betrug 3 Stunden und 28 Minuten. Der Proband ist 21 Jahre alt, Nichtraucher und betreibt 3 Stunden Sport pro Woche.

Der erste Block wurde mit einer Durchschnittszeit von 5.4 Sekunden gelöst. Der Durchschnittswert im zweiten Block stieg auf 6.37 Sekunden an. Der dritte Block hatte eine Durchschnittszeit von 6.33 Sekunden. Der vierte Block wurde mit einer Durchschnittszeit von 5.73 Sekunden und der fünfte mit 6.33 Sekunden gelöst.

Bei Proband 1 ist kein Zusammenhang zwischen den gelösten Rechenblöcken mit oder ohne zusätzlichem Sauerstoff erkennbar.

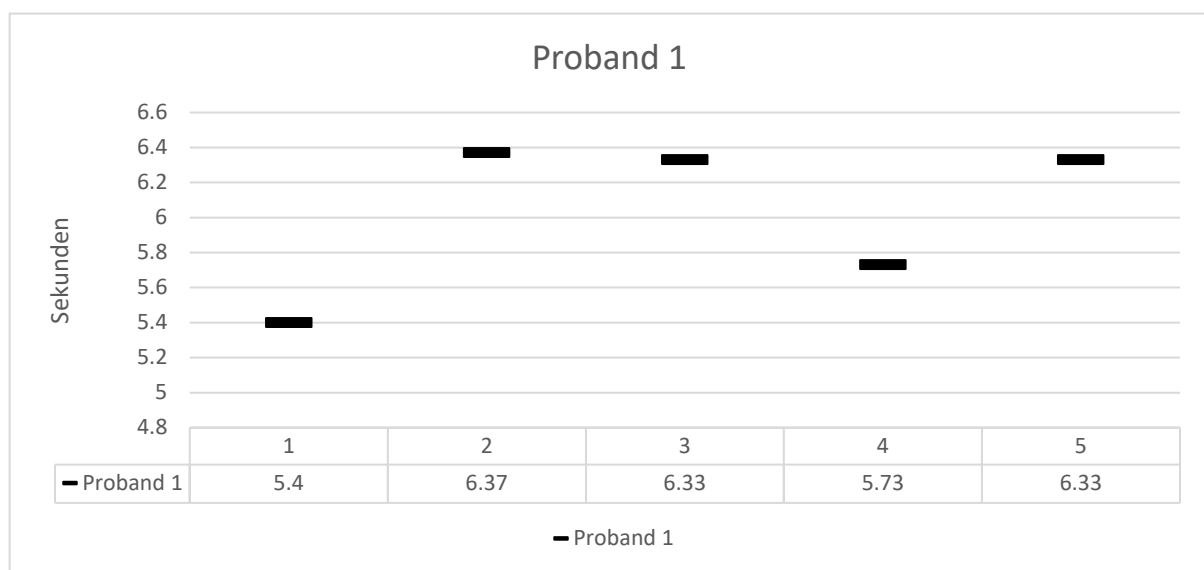


Abbildung 31: Proband 1

4.2 Proband 2

Dieser Abschnitt zeigt die Rechendauer der verschiedenen Blöcke des Probanden 2.

In Abbildung 32 sind die durchschnittlichen Zeiten für eine Aufgabe pro Block von Proband 2 dargestellt. Proband 2 hatte während dem Flug eine Maximalhöhe von 2115 m und die Flugdauer betrug 3 Stunden und 4 Minuten. Der Proband ist 21 Jahre alt, Nichtraucher und betreibt 1 Stunde Sport pro Woche.

Beim ersten Block benötigte Proband 2 eine Durchschnittszeit von 10.52 Sekunden für eine Aufgabe. Beim zweiten Block sank die Durchschnittszeit auf 9.91 Sekunden. Block 3 wurde mit einer Durchschnittszeit von 8.38 Sekunden gelöst, wobei Block 4 eine Durchschnittszeit von 15.63 Sekunden hatte. Block 5 wurde mit einer Durchschnittszeit von 13.71 Sekunden gelöst. Block 6 wurde nicht durchgeführt, da sich der Pilot in der Landephase des Fluges befand und kein Sicherheitsrisiko eingegangen werden sollte.

Wie auch bei Proband 1 ist hier keine Gesetzmässigkeit zwischen den Rechenblöcken erkennbar, die mit oder ohne zusätzlichem Sauerstoff gelöst wurden.

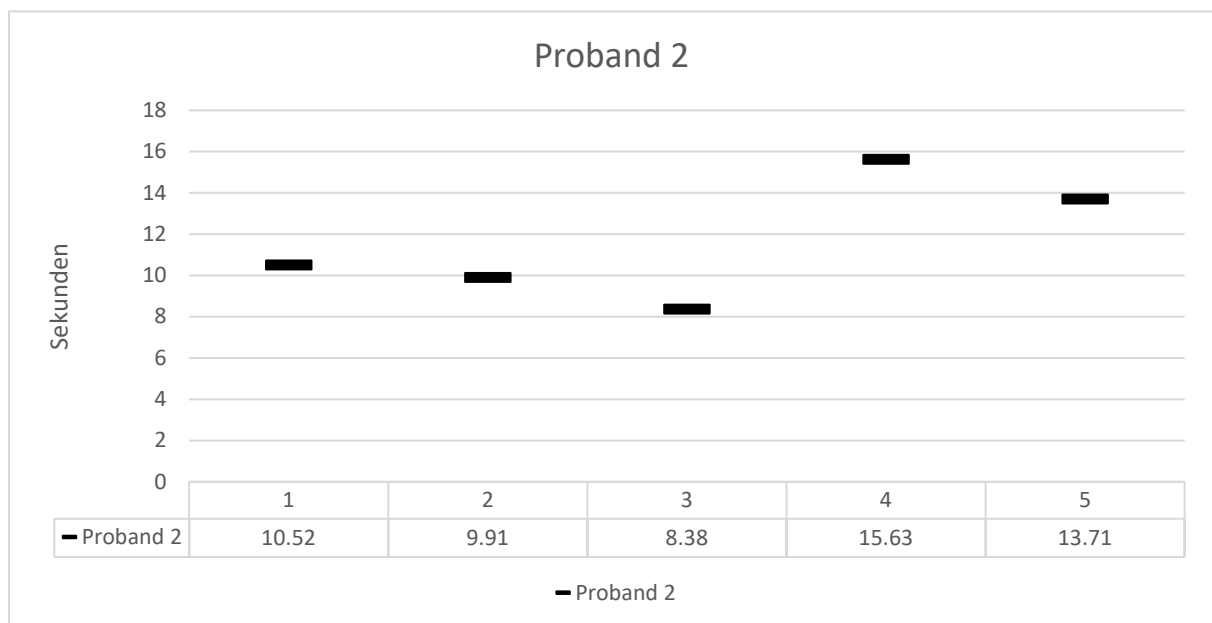


Abbildung 32: Proband 2

4.3 Proband 3

In Abbildung 33 sind die durchschnittlichen Zeiten für eine Aufgabe pro Rechenblock von Proband 3 dargestellt. Es konnten sechs Rechenblöcke durchgeführt werden. Proband 3 hatte während dem Flug eine Maximalflughöhe von 2314 m und die Flugdauer betrug 2 Stunden und 51 Minuten. Der Proband ist 17 Jahre alt, Nichtraucher und betreibt 4 Stunden Sport pro Woche.

Beim ersten Block benötigte Proband 3 eine Durchschnittszeit von 3.6 Sekunden. Der zweite Block wurde mit einer Durchschnittszeit von 4.57 Sekunden gelöst. Eine Durchschnittszeit von 4.03 Sekunden benötigte Proband 3 beim dritten Block. Eine halbe Sekunde länger, 4.53 Sekunden Durchschnittszeit benötigte Proband 3 bei Block 4. Block 5 wurde mit einer Durchschnittszeit von 3.46 Sekunden gelöst, während Block 6 eine Durchschnittszeit von 5.15 Sekunden hatte. Anders wie bei Proband 1 und 2 ist bei Proband 3 eine klare Verbesserung der Leistung mit Sauerstoff erkennbar.

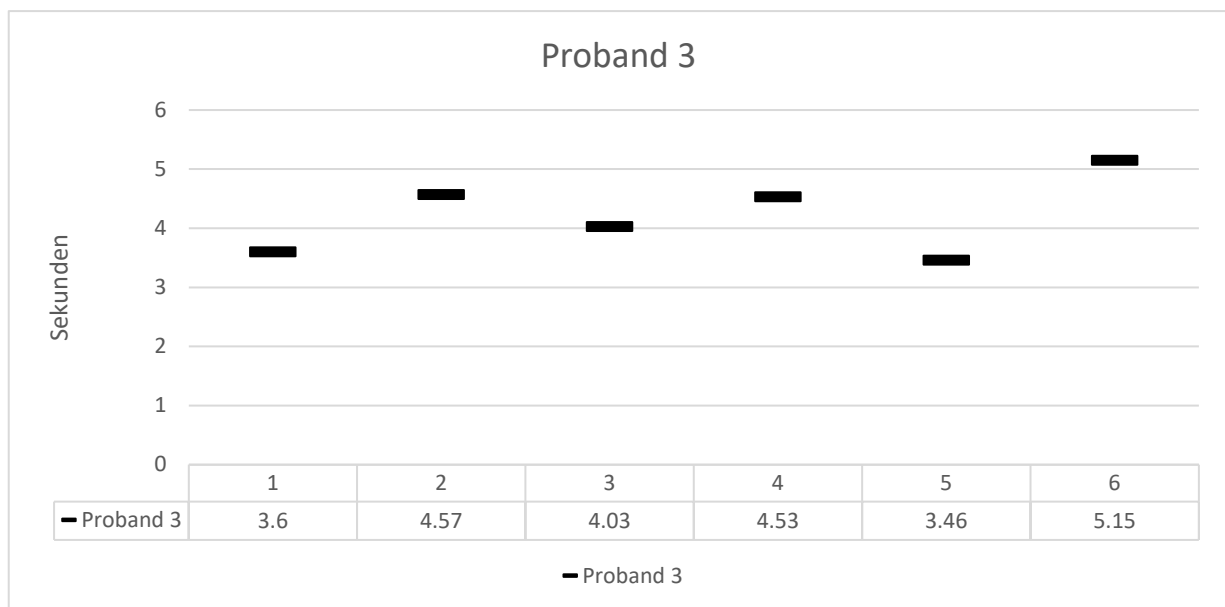


Abbildung 33: Proband 3

4.4 Proband 4

In Abbildung 34 sind die durchschnittlichen Zeiten für eine Aufgabe pro Block von Proband 4 dargestellt. Es wurden sechs Rechenblöcke während dem Flug durchgeführt. Proband 4 hatte eine Maximalflughöhe von 1873 m und die Flugdauer betrug 3 Stunden und 21 Minuten. Der Proband ist 40 Jahre alt, Nichtraucher und betreibt 90 Minuten Sport in der Woche.

Proband 4 löste den ersten Block mit einer Durchschnittszeit von 3.64 Sekunden. Der zweite Block wurde mit einer Durchschnittszeit von 4.2 Sekunden gerechnet. Block 3 hatte eine Durchschnittszeit von 3.11 Sekunden, wobei Block 4 eine von 4.77 Sekunden hatte. Die Durchschnittszeit von Block 5 betrug 3.88 Sekunden. Block 6 wurde mit einer Durchschnittszeit von 3.97 Sekunden durchgeführt. Auch bei Proband 4 ist eine klare Verbesserung der Leistung erkennbar, wenn mit Sauerstoff gerechnet wurde.

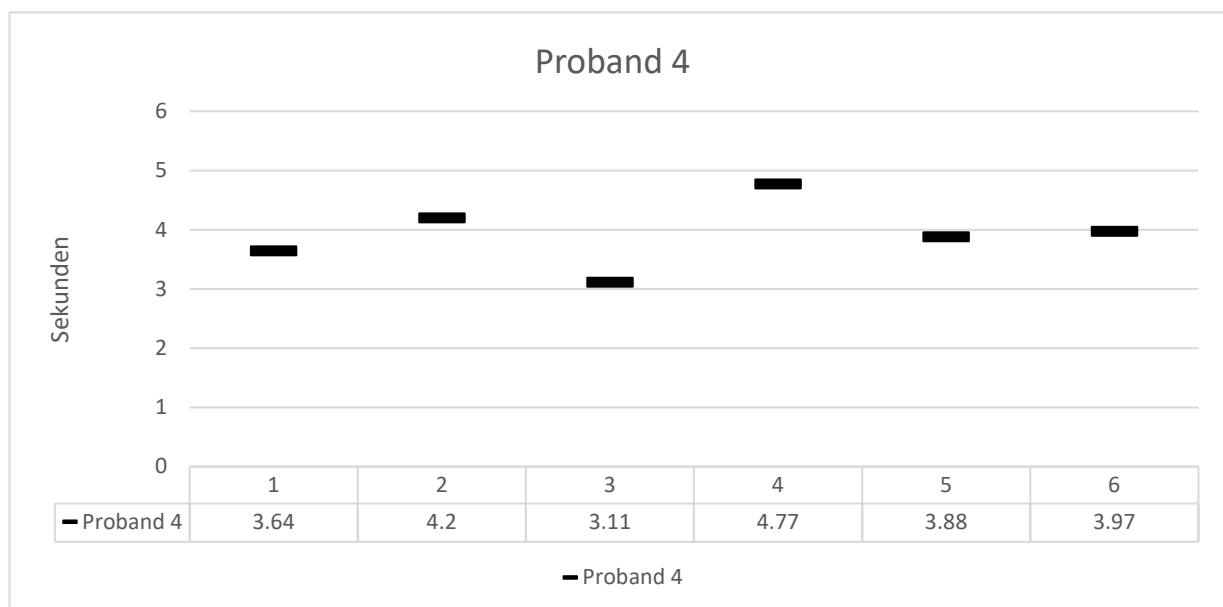


Abbildung 34: Proband 4

4.5 Proband 5

In Abbildung 35 sind die durchschnittlichen Zeiten für eine Aufgabe pro Block von Proband 5 dargestellt. Es konnten ebenfalls sechs Rechenblöcke während des Fluges durchgeführt werden. Proband 5 hatte eine Maximalflughöhe von 3533 m und die Flugdauer betrug 3 Stunden und 16 Minuten. Der Proband ist 72 Jahre alt, Nichtraucher und betreibt 3 Stunden Sport in der Woche.

Proband 5 löste den Block 1 mit einer Durchschnittszeit von 3.96 Sekunden, wobei Block 2 eine Durchschnittszeit von 5.41 Sekunden benötigte. Block 3 wiederum wurde mit einer Durchschnittszeit von 3.99 Sekunden gelöst. Block 4 benötigte eine Durchschnittszeit von 5.49 Sekunden. Eine Durchschnittszeit von 5.15 Sekunden erreichte der Proband 5 bei Block 5 und eine Durchschnittszeit von 5.16 Sekunden bei Block 6. In Abbildung 36 ist deutlich erkennbar, dass auch Proband 5 bessere Leistungen beim Rechnen mit Sauerstoff erreichte.

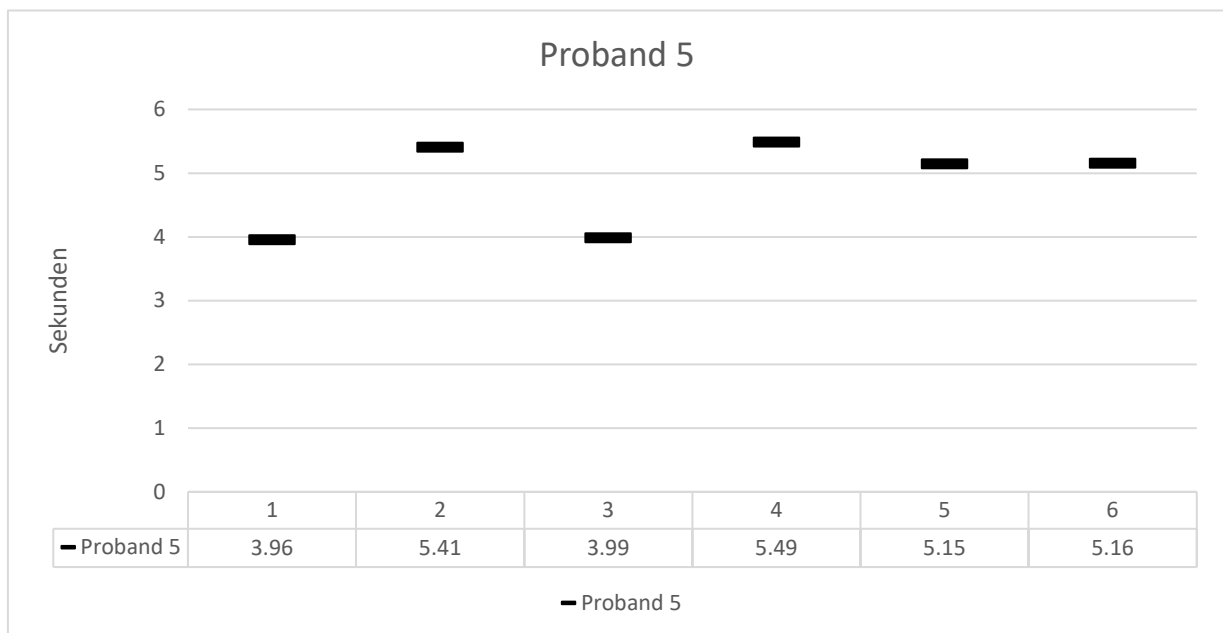


Abbildung 35: Proband 5

5 Diskussion

Die Diskussion wird in fünf Teile gegliedert. Im ersten Teil werden die Ergebnisse der Umfrage mit der Literatur verglichen und Schlüsse gezogen. Die Ergebnisse der Experimente werden im zweiten Teil behandelt. Im dritten Teil werden das Diskutierte und die Ergebnisse der beiden vorherigen Teile zusammengefügt und miteinander verglichen. Schlussendlich wird im vierten Teil auf die Beantwortung der Fragestellung eingegangen und zuletzt, im fünften Teil, werden Probleme und Erfolge bei dieser Arbeit sowie weitere Forschungsideen präsentiert.

5.1 Vergleich Umfrage mit Literatur

Wie in Frage 15 (Abbildung 16) ersichtlich ist, können 66.97% der Befragten eine Verbesserung ihrer Aufmerksamkeit und Konzentration beobachten, wenn sie unter 4000 m zusätzlichen Sauerstoff zu sich nehmen. Diese 4000 m beziehen sich auf die von FAR 91.211 übernommene Höhe, ab welcher bis Oktober 2018 Sauerstoff benutzt werden musste. Wie im Theorieteil in Kapitel 1.1.3 erläutert, wurde diese Höhe auf einer Studie begründet, die unter unrealistischen Verhältnissen durchgeführt wurde [2]. Dies lässt darauf zurückschliessen, dass bei den meisten Piloten der Sauerstoffmangel schon bei einer tieferen Höhe eintritt. Bei Frage 15 (Abbildung 16) wird dies klar von den Teilnehmern der Umfrage bestätigt.

Nach Lehrbuch liegt die Störschwelle bei einem durchschnittlichen Menschen bei 3000 m [1]. Ab dieser Höhe ist weniger als 90% O₂ Sättigung im Blut vorhanden und der Sauerstoffmangel setzt ein. Bei Frage 17 (Abbildung 18) ist ersichtlich, dass viele der Befragten die Symptome meldeten, über der Störschwelle von 3000 m ohne Sauerstoff an Konzentrationsschwierigkeiten leiden (62.74%), sich nicht zu weiteren Leistungen motivieren können (34.60%) oder Sekundenschlaf erleben (15.97%). Unter der Störschwelle von 3000 m (Abbildung 19) sieht das nicht viel besser aus. Noch immer leiden fast zwei Drittel der Befragten (64.05%), welche Symptome meldeten, ohne Sauerstoff an Konzentrationsschwierigkeiten. 41.57% haben auch immer noch Mühe, sich zu weiteren Leistungen zu motivieren. Sekundenschläfer sind mit 16.85% auch vertreten. Anhand dieser Ergebnisse ist ersichtlich, dass einige Piloten bereits unter 3000 m Symptome von Sauerstoffmangel beobachten. Man muss jedoch beachten, dass über der Störschwelle von 3000 m fast die Hälfte, 46.98% aller Befragten, keine Symptome meldeten (siehe Frage 17). Unter der Störschwelle von 3000 m beträgt dieser Anteil sogar 64.11% und ist somit erheblich grösser als über 3000 m (siehe Frage 18). Allerdings sind die Symptome nicht ganz verschwunden, wie es sein sollte. Ungefähr ein Drittel der Befragten hat somit auch Sauerstoffmangelsymptome unter der Störschwelle bzw. unterhalb von 3000 m.

Gemäss Definition spricht man von einer Hypoxie, wenn die Sauerstoffsättigung im Blut unter 90% fällt, was auch mit der Störschwelle von 3000 m übereinstimmen würde [1]. Die Sauerstoffsättigung der Befragten wird also unter 3000 m zwischen 90% und 99% liegen, wobei die Sättigung mit steigender

Höhe gegen 90% sinkt. Eine optimale Sauerstoffsättigung liegt zwischen 94% und 98% [7]. Es ist wahrscheinlich, dass bei der Störschwelle von 3000 m und tiefer kein normaler Wert von 94%-98% erreicht wird. Gemäss Tabelle 1 von Dr. Schaffner verändert sich die Sauerstoffsättigung im Blut um 1% pro 435.7 m Höhenunterschied. Wenn bei der Störschwelle von 3000 m eine Sättigung von 90% vorhanden ist, wird die Mindestsättigung von 94% somit erst bei 1257.2 m ($3000\text{ m} - 4 \times 435.7\text{ m}$) erreicht. Dies ist eine Höhendifferenz von 1742.8 m. Diese noch nicht erreichte Sauerstoffsättigung von mindestens 94% bis 1257.2 m könnte ein Grund für die Beobachtungen der Befragten sein. Jedoch lässt sich diese Erklärung hinterfragen, wenn z.B. die Reaktionsschwelle (2000 m) oder der Sauerstoffverbrauch der Organe berücksichtigt werden.

Die Reaktionsschwelle ist die Höhe, ab welcher der Körper anfängt, den Mangel an Sauerstoff mit einer tieferen Atmung und einem erhöhten Puls zu kompensieren. Bei einem durchschnittlichen Menschen liegt die Reaktionsschwelle bei 2000 m. Jedoch kann auch mit Kompensation nicht beliebig hoch beim Segelfliegen geflogen werden. Trotz dieser Kompensation gibt es bei steigender Höhe auch einen Abfall der Sauerstoffsättigung im arteriellen Blut. Die Kompensation lässt diesen Abfall der Sauerstoffsättigung bloss später auftreten, bis die Sauerstoffsättigung ab 3000 m unter 90% sinkt und Sauerstoffmangel einsetzt.

Die meisten Organe nutzen nur 8-35% des angebotenen Sauerstoffs. Ausnahme ist das Myokard, die muskuläre Wand des Herzens, das 60% des Sauerstoffangebots nutzt. Das Gehirn nutzt ebenfalls nur 35% des angebotenen Sauerstoffs [9]. Wenn es nun einen Abfall der Sauerstoffsättigung im Blut gäbe, würde der relative Verbrauch der Organe ansteigen, jedoch ist die Reserve so gross, dass diese eine Unterversorgung bei Höhen zwischen 2000 m und 3000 m unwahrscheinlich macht.

Eine mögliche Erklärung für die Sauerstoffmangelsymptome unter 3000 m wäre jedoch der Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffpartialdruck (pO_2) im arteriellen Blut und der Sauerstoffsättigung. Je tiefer die Sauerstoffsättigung, desto tiefer der Sauerstoffpartialdruck und umgekehrt [10]. Ein normaler Sauerstoffpartialdruck befindet sich zwischen 65-100 mmHg [16]. Diese Werte werden bei einer normalen Sauerstoffsättigung von 94-98% erreicht, die zwischen 1257.2 m und 3000 m Höhe jedoch nicht erreicht wird. Mit einem zu tiefen Sauerstoffpartialdruck - was bei einer Sauerstoffsättigung zwischen 90% und 94% möglich wäre - kann die Diffusion von Sauerstoff zwischen Blutbahn und Zelle nicht mehr genügend schnell stattfinden [11] und die Zelle ist somit unterversorgt. Da der Sauerstoffpartialdruck vom Alter abhängig ist und im hohen Alter eher tief liegt [12], würde dies auch die erhöhte Empfindlichkeit der älteren Piloten in Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 23 erklären. Dies wäre eine mögliche Erklärung, die Sauerstoffmangelercheinungen zu begründen. Jedoch könnte es auch z.B. an unzureichender Ernährung und Hydratation während dem Flug liegen.

Es ist interessant zu sehen, dass ein Grossteil der Befragten, eigene Angaben zur Frage 13 machten, ab wann sie im Flug Sauerstoff benutzen. Wie in Abbildung 13 und Abbildung 14 ersichtlich ist, wird grösstenteils erst ab 3000 m oder 3500 m Sauerstoff zu sich genommen. Das widerspricht den Beobachtungen in Frage 18 (Abbildung 19) bei der gezeigt wird, dass 64% der Piloten unter 3000 m bereits Mühe haben sich zu konzentrieren und 42% gelegentlich Motivationsprobleme bemerken. Aufgrund der vorherigen Diskussion wäre eine logische Konsequenz daher, bereits beim Beobachten von Sauerstoffmangelerscheinungen auch unter 3000 m zu zusätzlichem Sauerstoff zu greifen.

Bei den Vergleichen zwischen den verschiedenen Altersgruppen ist erwähnenswert, dass bei den älteren Altersgruppen signifikante Unterschiede zu den jüngeren Altersgruppen zu beobachten sind. Es kann gesagt werden, dass ältere Piloten stärker und früher auf Sauerstoffmangel reagieren als die jüngeren Piloten. Auch nehmen ältere Piloten öfter zusätzlichen Sauerstoff zu sich. Dies liegt wohl an der im Alter abnehmenden Sauerstoffsättigung und dem Sauerstoffpartialdruck im arteriellen Blut, der ebenfalls mit der Sauerstoffsättigung abnimmt [13]. Somit ist anzunehmen, dass die 90% Sauerstoffsättigung bei älteren Personen bereits früher unterschritten wird.

Der Einflussfaktor Sport zeigt keine derartigen Unterschiede bezüglich Konzentration und Aufmerksamkeit. Sportliche Aktivitäten, in dem Rahmen wie sie untersucht wurden, scheinen die Verträglichkeit von weniger Sauerstoffgehalt im Blut nicht zu beeinflussen. Dies macht Sinn, wenn berücksichtigt wird, dass z.B. Ausdauertraining unter anderem den Zweck hat, das Herz zu trainieren. Es soll mit einem Herzschlag mehr Blut auf einmal durchpumpen. Sobald dies der Fall ist, sinkt der Puls, da mit einem tieferen Herzschlag die gleiche Menge Blut durchgepumpt werden kann. Die Sauerstoffaufnahme verbessert sich auch [14], jedoch nützt dies nichts, wenn zu wenig Sauerstoff vorhanden ist.

Die Resultate beim Vergleich der Raucher mit den Nichtraucherern ergeben bloss einen geringen Unterschied beider Gruppen, was überraschte. Die Gruppe der Nichtraucher war immer leicht im Vorteil, jedoch ist dieser verschwindend klein. Rauchen verursacht Teerablagerungen in der Lunge bzw. den Alveolen, daher kann der Körper eines Rauchers schlechter Sauerstoff aufnehmen und die Sauerstoffsättigung ist leicht tiefer als bei Nichtrauchern [15]. Das würde für eine deutlich höhere Symptomerkenkung wegen Sauerstoffmangel bei Rauchern sprechen und müsste von den Piloten erkannt werden. Der geringe Unterschied bei der Umfrage kann mit der geringen Anzahl von teilnehmenden Rauchern begründet werden. Zudem sind Beobachtungen der Teilnehmer immer subjektiv und Raucher sind möglicherweise an leichte Symptome gewöhnt. Wegen der kleinen Stichprobe der Nichtraucher sind die Ergebnisse dieser Vergleiche nicht repräsentativ. Um hier gesicherte Aussagen machen zu können, müssten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

5.2 Experimente

Die Ergebnisse der Experimente zeigen bei den Probanden 3, 4 und 5 eine deutliche Verbesserung der Rechenleistungen mit Verwendung von zusätzlichem Sauerstoff. Sie benötigten in etwa eine Sekunde weniger durchschnittliche Rechenzeit pro Rechenblock als ohne Sauerstoff. Diese Ergebnisse erscheinen plausibel und bestätigen die Ausführungen von Kapitel 5.1., dass Sauerstoffzufuhr die Sauerstoffsättigung im Blut auch in höheren Lagen aufrechterhält. Ebenso ist auch ersichtlich, dass zwischen Reaktionsschwelle und Störschwelle zusätzlicher Sauerstoff auch einen Einfluss auf die Aufmerksamkeit und die Konzentration hat. Sogar unter der Reaktionsschwelle von 2000 m [1] erweist sich zusätzlicher Sauerstoff als hilfreich in Sachen Konzentration, wie Proband 4 zeigt. Proband 5 hatte die Maximalhöhe ganz klar über der Störschwelle. Wenn die Altersgruppe 61-100 Jahre auch noch mit in Betracht gezogen wird, ist die Verbesserung der mentalen Leistungen mit zusätzlichem Sauerstoff ganz klar ersichtlich.

Bei den Probanden 1 und 2 hingegen konnten diese Beobachtungen nicht gemacht werden. Bei Proband 2 fällt der Wert des ersten Rechenblocks aus der Reihe. Die restlichen Ergebnisse zeigen doch eine leicht erhöhte Rechengeschwindigkeit mit Sauerstoff.

Bei Proband 1 sind jedoch keinerlei Gemeinsamkeiten mit den anderen zu sehen. Eine Erklärung für die teilweise grossen Unterschiede des Probanden 1 sind schwer zu erklären. Betrachtet man die maximale Flughöhe von Proband 1 ist diese vergleichbar mit den Flughöhen von Proband 2, Proband 3 und Proband 4. Des Weiteren sind Probanden 1, 2 und 3 in derselben Altersgruppe, was die aussergewöhnlichen Ergebnisse von Proband 1 auch nicht erklärt.

An dieser Stelle könnte die geringe Stichprobengrösse eine starke Rolle spielen, die Zufallsfaktoren viel Raum lassen. Da bloss fünf Probanden Daten lieferten, müssten weitere Experimente auf unterschiedlichen Flughöhen durchgeführt werden, um repräsentative Ergebnisse ermitteln zu können.

5.3 Allgemeine Schlussfolgerungen

Mehr als die Hälfte der befragten Personen haben bei der Umfrage Konzentrationsschwierigkeiten unter der Höhe von 3000 m und über 3000 m gemeldet (siehe Fragen 17 und 18).

Nun konnte beim Experiment, vor allem bei Probanden 3 und 4, eine Leistungssteigerung mit zusätzlichem Sauerstoff unter einer Höhe von 3000 m beobachtet werden. Somit kann davon ausgegangen werden, dass Sauerstoff auch unter der Störschwelle einen positiven Effekt auf die Konzentration und Aufmerksamkeit hat.

Die Abweichungen der Probanden 1 und 2 lassen sich mit der Abbildung 23 erklären. In dieser ist klar ersichtlich, dass nur eher kleinere Teile der Altersgruppen 14-18 und 19-25 Jahre unter 3000 m

Symptome aufgrund von Sauerstoffmangel beobachten konnten. Es kann also gesagt werden, dass zusätzlicher Sauerstoff auch unter der Störschwelle bei allen Altersgruppen die Aufmerksamkeit und Konzentration positiv beeinflussen kann, wobei eher jüngere Piloten einen weniger grossen Unterschied bemerken.

Wie in Frage 16 zu vermuteten Auswirkungen von zusätzlichem Sauerstoff ersichtlich ist, tippen 54.67% auf eine Erhaltung der Konzentration und Aufmerksamkeit, wenn besonders bei längeren Flügen mit anstatt ohne zusätzlichen Sauerstoff geflogen wird. Bei den Experimenten lässt sich dies bestätigen, da bei den Probanden 3, 4 und 5 eine Erhaltung, jedoch keine Förderung oder Steigerung der Konzentration erkennbar ist. Eine Förderung bzw. eine Steigerung macht in diesem Fall auch weniger Sinn, da mit zusätzlichem Sauerstoff die gleiche Sauerstoffversorgung wie am Boden vorliegen sollte. Daraus folgt, dass sich ein Pilot mit zusätzlichem Sauerstoff gleich gut wie am Boden konzentrieren kann aber nicht besser, wenn von Flugstress, Funksituationen und Multitasking-Situationen während dem Flug abgesehen wird.

5.4 Beantwortung der Fragestellung

Die Fragestellung, die zu Beginn dieser Forschungsarbeit gestellt wurde, kann nun mittels Literatur und Ergebnissen aus der Umfrage und den Experimenten beantwortet werden.

Bezugnehmend auf die Fragestellung,

«Wie beeinflusst zusätzlicher Sauerstoff die Konzentration und Aufmerksamkeit der Piloten während dem Segelflug unter einer Höhe von 4000 m. ü. M.?»,

kann gesagt werden, dass zusätzlicher Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m einen positiven Effekt auf die Aufmerksamkeit und Konzentration der Piloten hat. Es ist sowohl bei den Ergebnissen der Umfrage als auch der Experimente eine Erhaltung der Aufmerksamkeit und Konzentration klar erkennbar. Gemäss Winfried Kassera liegt die Störschwelle bei 3000 m [1]. Es wird daher empfohlen, bereits ab dieser Höhe Sauerstoff zu sich zu nehmen.

Obwohl die Literatur die Störschwelle ganz klar bei 3000 m setzt und unter dieser Höhe keine Sauerstoffmangelsymptome beobachtet werden sollten, konnten Teilnehmer der Umfrage aber solche bemerken. Es ist ersichtlich, dass über die Hälfte der Piloten bereits unter der Störschwelle Konzentrationsschwierigkeiten und Mühe haben, sich zu weiteren Leistungen zu motivieren. Auch konnten einige Befragte Sekundenschlaf beobachten. Somit ist es empfehlenswert, zusätzlichen Sauerstoff schon unter 3000 m zu sich zu nehmen. Es ist ersichtlich, dass ältere Teilnehmer empfindlicher auf Sauerstoffmangel reagieren als jüngere Teilnehmer. In Bezug auf die heutige Gesetzeslage, die es den Piloten frei lässt, ab wann dieser zusätzliche Sauerstoff zu sich nimmt [6], empfiehlt es sich, zusätzlichen Sauerstoff schon unter 3000 m zu sich zu nehmen.

Auch in den Ergebnissen der Experimente ist ersichtlich, dass ab 2000 m eine Zufuhr von zusätzlichem Sauerstoff empfehlenswert ist, insbesondere für ältere Piloten.

Die Einflussfaktoren Sport, Raucher oder Nichtraucher zeigen keine oder nur vernachlässigbare Effekte. Der Einfluss des Alters hingegen kann gut beobachtet werden. Je älter Piloten waren, desto häufiger wurden Symptome von Sauerstoffmangel beobachtet. Auch benutzen ältere Piloten häufiger zusätzlichen Sauerstoff als jüngere Piloten.

In diese Arbeit wurde auch ersichtlich, dass individuelle Unterschiede der Piloten für das Einnehmen von Sauerstoff in Betracht gezogen werden müssen.

5.5 Ausblick

Die vorliegende Arbeit ist ein Ergebnis einer intensiven Auseinandersetzung mit Literatur und praktischen Aktivitäten im Zusammenhang mit Sauerstoffzufuhr während dem Segelflug.

Im Laufe des Prozesses wurde gemerkt, dass die Fragestellung nicht optimal gewählt war. Es wurde ursprünglich davon ausgegangen, dass die übernommene Höhe von FAR 91.211 mit 4000 m noch immer gültig sei. Eine passendere Flughöhe wäre 3000 m gewesen, da diese die durchschnittliche Störschwelle repräsentiert.

Der experimentelle Teil der Arbeit hatte mit den schlechten und regnerischen Wetterbedingungen im Frühling und Sommer 2021 zu kämpfen, was nicht ideal war. Das Budget und die Piloten für die nötigen 10-20 Flüge wären bereit gewesen, konnten aber leider nicht genutzt werden. Wäre für den experimentellen Teil der Forschung mehr Zeit zur Verfügung gewesen, könnten die zusätzlich gesammelten Daten die Aussagekraft der Beobachtungen stärken.

Ein weiteres interessantes Thema wäre sicher die Messung von Sauerstoffgehalt und Sauerstoffpartialdruck im arteriellen Blut über und unter 3000 m gewesen. Damit könnte die Erklärung zu den Sauerstoffmangelercheinungen unter 3000 m verifiziert oder widerlegt werden. Auch könnte man das Experiment mit einer angepassten Maximalhöhe von 3000 m wiederholen und falls das Wetter es zuliesse, könnten 10-20 Flüge durchgeführt werden. Damit wären repräsentablere Ergebnisse erhältlich.

6 Literaturverzeichnis

- 1 Winfried Kassera, Motorflug Kompakt 8.Auflage 2020, Motorbuch Verlag, Stuttgart, Kapitel «Menschliches Leistungsvermögen», S. 340ff
- 2 Dr. med. Heini Schaffner, «Vigilanz für «see and avoid» und Fluggenuss im Alpenflug erfordern die bereits im Höhenband von 2'000 bis 4'500 m!», <https://www.sglenzburg.ch/org/public/Dokumente/Sicherheit/01-Allgemeines/nullhypoxie21red.pdf> , 03.09.2021
- 3 Prof. Dr. iur. Roland Müller, Recht der Luftfahrt FACH 10 12. Auflage 2020, BAK-Lehrmittelverlag, Alpnach, Kapitel 2.7.2.4
- 4 Waltraud Grünbauer, Die Verwendung von Sauerstoff im Segelflug, <http://sgbaselfricktal.ch/sauerstoff-im-segelflug>, 03.09.2021
- 5 Dr. Frank Antwerpes et al., Hypoxie, <https://flexikon.doccheck.com/de/Hypoxie>, 04.09.2021
- 6 EASA, COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2018/1976, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1976> , 04.09.2021
- 7 Unbekannter Autor, Auch eine Überversorgung mit Sauerstoff sollte vermieden werden, <https://www.lungenaerzte-im-netz.de/news-archiv/meldung/article/auch-eine-ueberversorgung-mit-sauerstoff-sollte-vermieden-werden/>, 08.09.2021
- 8 Valerie Burmester, Sauerstoffsättigung im Blut: Das steckt dahinter, <https://www.gesundheit.de/medizin/untersuchungen/laborwerte/sauerstoffsattigung>, 08.09.2021
- 9 Prof. Dr. med. Rolf Zander, Sauerstoff von A bis Z: Alveole bis Zelle, [physioklin.de: Sauerstoff von A bis Z: Alveole bis Zelle](https://www.physioklin.de/Sauerstoff-von-A-bis-Z-Alveole-bis-Zelle) , 08.09.2021
- 10 Verschiedene Autoren, Sauerstoffsättigung, <https://de.wikipedia.org/wiki/Sauerstoffsattigung>, 09.09.2021
- 11 Unbekannter Autor, Gastransport im Blut, <https://www.netdokter.ch/laborwerte/sauerstoffsattigung/>, 9.9.2021
- 12 Lena Machetanz, Martina Feichter, Sauerstoffsättigung: Normalwerte, <https://www.netdokter.ch/laborwerte/sauerstoffsattigung/#:~:text=Sauerstoffsattigung%3A%20Normalwerte,-Weder%20Alter%20noch&text=Werte%20bei%20gesunden%20Menschen%20sollten,entspricht%2012%20C8%20kPa>, 09.09.2021
- 13 Lena Machetanz, Martina Feichter, Sauerstoffsättigung, <https://www.netdokter.ch/laborwerte/sauerstoffsattigung/> , 11.09.2021
- 14 Dr. Thomas Hartl, Ausdauertraining stärkt das Herz, <https://www.meinegesundheit.at/cdscontent/?contentid=10007.688393>, 11.09.2021
- 15 Unbekannter Autor, Pulsoxymetrie – Werte, Fehlerquellen und im Einsatz, <https://www.medinstrukt.de/die-pulsoxymetrie/>, 11.09.2021
- 16 Wolfgang Oczenski, 2.18 Sauerstofftransport im Blut, <https://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0034-20931>, 12.09.2021

- 17 BAZL, Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA),
<https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/sicherheit/internationales/europaeische-agentur-fuer-flugsicherheit--easa-.html>, 22.09.2021
- 18 BAZL, Operationen NCO,
<https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/fachleute/flugoperationen/nco.html>, 22.09.2021
- 19 EASA, COMMISSION REGULATION (EU) No 800/2013, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1473428547122&uri=CELEX%3A32013R0800>, 22.9.2021
- 20 EASA, COMMISSION REGULATION (EU) 2016/1199, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2016.198.01.0013.01.ENG&toc=OJ%3AL%3A2016%3A198%3ATOC, 22.09.2021
- 21 Verschiedene Autoren, Energiebereitstellung,
<https://de.wikipedia.org/wiki/Energiebereitstellung>, 23.9.2021

7 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Alter der Befragten.....	10
Abbildung 2: Geschlechterverteilung.....	10
Abbildung 3: Sportliche Aktivität	11
Abbildung 4: Ausdauertraining	11
Abbildung 5: Verhältnis zum Rauchen	12
Abbildung 6: Flugerfahrung in Stunden.....	12
Abbildung 7: Hauptfluggebiete der Piloten.....	13
Abbildung 8: Streckenflüge.....	13
Abbildung 9: Erfahrung mit Wettbewerben	13
Abbildung 10: Durchschnittliche Flugdauer an einem Flugtag.....	14
Abbildung 11: Häufigkeit der Anwendung von Sauerstoff.....	15
Abbildung 12: Art der Sauerstoffaufnahme	15
Abbildung 13: Sauerstoffbenutzung während dem Flug.....	16
Abbildung 14: Sauerstoffbenutzung während dem Flug (Eigene Angabe).....	16
Abbildung 15: Weitere Gründe für die Benutzung von Sauerstoff.....	17
Abbildung 16: Die Auswirkung von zusätzlichem Sauerstoff unter einer Höhe von 4000 m	18
Abbildung 17: Vermutungen über die Auswirkung von zusätzlichem Sauerstoff auf die Konzentration und Aufmerksamkeit	19
Abbildung 18: Beobachtete Symptome bei einem Flug über 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff....	20
Abbildung 19: Beobachtete Symptome bei einem Flug unter 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff... 21	
Abbildung 20: Vergleich zwischen den verschiedenen Altersgruppen und der Häufigkeit der Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff während dem Flug	22
Abbildung 21: Vergleich zwischen den Altersgruppen und Beobachtungen bezüglich der Aufmerksamkeit und Konzentration in einem Flug unter 4000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff.....	23
Abbildung 22: Vergleich zwischen den Altersgruppen und den Beobachtungen über einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff	24
Abbildung 23: Vergleich zwischen den Altersgruppen und den Beobachtungen unter einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff	25
Abbildung 24: Vergleich zwischen den Sportgruppen und den Beobachtungen unter einer Höhe von 4000 m	26
Abbildung 25: Vergleich zwischen den Sportgruppen und den Beobachtungen über einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff	27
Abbildung 26: Vergleich zwischen den Sportgruppen und den Beobachtungen unter einer Höhe von 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff	28
Abbildung 27: Vergleich zwischen Rauchern und Nichtrauchern bei der Benutzung von Sauerstoff..	29

Abbildung 28: Unterschiede beider Gruppen Raucher und Nichtraucher bezüglich Aufmerksamkeit und Konzentration bei der Einnahme von zusätzlichem Sauerstoff unter 4000 m	30
Abbildung 29: Symptome während eines längeren Fluges (>3 h) über 3000 m ohne zusätzlichen Sauerstoff.....	31
Abbildung 30: Vergleich zwischen Rauchern und Nichtrauchern beim Beobachten von Symptomen unter 3000 m	31
Abbildung 31: Proband 1	33
Abbildung 32: Proband 2	34
Abbildung 33: Proband 3	35
Abbildung 34: Proband 4	36
Abbildung 35: Proband 5	37

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich beim Aero Club der Schweiz bedanken. Mit dem Sponsoring des Dachverbands Aero Club hätten bis zu 20 Flüge durchgeführt werden können. Leider lies das Wetter im Frühling und Sommer 2021 dies nicht zu. Weiter möchte ich mich beim Schweizerischen Segelflugverband bedanken, der meine Umfrage über die Benutzung von Sauerstoff an 1900 Segelflugpiloten der deutschen und französischen Schweiz verschickte. Dadurch konnten repräsentative Ergebnisse erzielt werden. Auch bedanke ich mich bei den 496 Teilnehmern der Umfrage, ohne die ich keine Ergebnisse und Trends der Antworten hätte beobachten können. Des Weiteren bedanke ich mich bei meinem Fluglehrer Dani Stahl, der die Umfrage mit mir gestaltete und mich durch die ersten Phasen der Planung dieser Maturaarbeit begleitete. Ein grosser Dank gebührt auch den Probanden, die sich jeweils einen Tag Zeit genommen haben, um mit mir die Flüge und Experimente durchzuführen.

Anhang

Anhang I

Frage 8 wurde in der Arbeit übersprungen, da sie als unbedeutend gewertet wurde.

Erfahrungen mit Sauerstoff während dem Flug Generell

1. Wie alt sind Sie?

- ☐ 14-18 Jahre
- ☐ 19-25 Jahre
- ☐ 26-40 Jahre
- ☐ 41-60 Jahre
- ☐ 61-80 Jahre
- ☐ 81-100 Jahre

2. Sie sind:

- ☐ Männlich
- ☐ Weiblich
- ☐ Sonstige

3. Wieviele Stunden Sport betreiben Sie pro Woche?

- ☐ Keinen
- ☐ <1 Stunde
- ☐ 1-3 Stunden
- ☐ >3-5 Stunden
- ☐ >5 Stunden

4. Machen Sie Ausdauertraining?

- ☐ Nein
- ☐ Gelegentlich
- ☐ 1-3 Stunden pro Woche
- ☐ >3 Stunden pro Woche

5. Sind Sie Raucher?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

Erfahrungen mit Sauerstoff während dem Flug Flugerfahrung

6. Wie viele Flugstunden haben Sie?

- ☐ 0-50
- ☐ 51-200
- ☐ 201-500
- ☐ 501-1000
- ☐ >1000

7. Welches ist Ihr Hauptfluggebiet?

- ☐ Flachland
- ☐ Jura
- ☐ Alpen
- ☐ Hochalpen

8. Wie oft fliegen Sie im Durchschnitt pro Jahr in den untenstehenden Fluggebieten? (oben: am häufigsten, unten: fast nie)

 	Flachland
 	Alpen
 	Jura
 	Hochalpen

9. Machen Sie Streckenflüge?

- ☐ Nein
- ☐ Ja, eher kurze (<300 km)
- ☐ Ja, eher längere (>300 km)

10. Fliegen Sie Wettbewerbe?

- ☐ Ja
- ☐ Nein

11. Wie lang fliegen Sie durchschnittlich an einem Flugtag?

- ☐ <1 h
- ☐ 1-2 h
- ☐ >2-4 h
- ☐ >4-6 h
- ☐ >6-8 h

Erfahrungen mit Sauerstoff während dem Flug Sauerstoffbenutzung

12. Wie oft fliegen Sie mit zusätzlichem Sauerstoff?

- ☐ Nie
- ☐ Manchmal
- ☐ Oft
- ☐ Immer
- ☐ Sonstiges (bitte angeben)

13. Wie nehmen Sie Sauerstoff während dem Flug auf?

- ☐ EDS o.ä. mit Nasenkanülen
- ☐ EDS o.ä. mit Sauerstoffmaske
- ☐ Mechanische Sauerstoffanlage mit Maske
- ☐ Keine Sauerstoffanlage
- ☐ Sonstiges (bitte angeben)

14. Ab wann im Flug benutzen Sie Sauerstoff?

- ☐ Erst ab 4000 m. ü. M.
- ☐ Erst, wenn ich Sauerstoffmangelerscheinungen spüre
- ☐ Erst, wenn meine Konzentration anfängt nachzulassen
- ☐ Von Anfang an
- ☐ Ich fliege nicht mit Sauerstoff
- ☐ Sonstiges (bitte angeben)

15. Benutzen Sie zusätzlichen Sauerstoff auch anderweitig, als zur Prävention von Sauerstoffmangel, wenn ja, wie bzw. wann? (Wenn nein, Frage überspringen.)

Erfahrungen mit Sauerstoff während dem Flug

Sauerstofferfahrungen

16. Merken Sie einen Unterschied bezüglich Ihrer Aufmerksamkeit und Konzentration, wenn Sie unter 4000 m. ü. M. mit, anstatt ohne Sauerstoff Fliegen?

- ☐ Nein
- ☐ Ja, sie verbessern sich.
- ☐ Ja, sie verschlechtern sich.
- ☐ Ich benütze keinen Sauerstoff unter 4000 m. ü. M.
- ☐ Sonstiges (bitte angeben)

17. Was denken Sie, wie sich zusätzlicher Sauerstoff, besonders bei längeren Flügen, auf Ihre Konzentration und Aufmerksamkeit auswirkt?

- ☐ Garnicht, zusätzlicher Sauerstoff dient nur zur Prävention von Sauerstoffmangel.
- ☐ Es wirkt sich als Konzentrations- und Aufmerksamkeiterhaltend aus.
- ☐ Es wirkt sich als Konzentrations- und Aufmerksamkeitsfördend aus.
- ☐ Es wirkt sich als Konzentrations- und Aufmerksamkeitssteigernd aus.
- ☐ Sonstiges (bitte angeben)

18. Hatten Sie während eines längeren Fluges (>3 h) über 3000 m. ü. M. ohne zusätzlichen Sauerstoff schon eines/mehrere der untenstehenden Symptome? (Mehrere Antworten sind möglich.)

- ☐ Gelegentlich Mühe sich voll zu Konzentrieren
- ☐ Gelegentlich Mühe sich weiter zur Leistung zu motivieren
- ☐ Sekundenschlaf
- ☐ Sonstiges (bitte angeben)
- ☐ Keine der oben genannten

19. Hatten Sie während eines längeren Fluges (>3 h) unter 3000 m. ü. M. ohne zusätzlichen Sauerstoff schon eines/mehrere der untenstehenden Symptome? (Mehrere Antworten möglich.)

- ☐ Gelegentlich Mühe sich voll zu Konzentrieren
- ☐ Gelegentlich Mühe sich weiter zur Leistung zu motivieren
- ☐ Sekundenschlaf
- ☐ Sonstiges (bitte angeben)
- ☐ Keine der oben genannten

Mit dem Abschicken dieser Umfrage erklären Sie sich damit einverstanden, dass Ihre angegebenen Daten anonym weiterverwendet und veröffentlicht werden dürfen.

Anhang II

Maturaarbeit

Sauerstoff von Anfang!

Test 1 **mit** Sauerstoff (direkt nach ausklinken)

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
6*7	42				
101*3	303				
1000/20	50				
43-15	28				
21*3	63				
81/9	9				
1340+960	2300				
50/2	25				
598-250	348				
67*3	201				
1500*4	6000				
1200*50	60000				
55/5	11				
64/8	8				
121/11	11				
O2 Wert:	Zeit insgesamt:				

30' ohne Sauerstoff

Test 1 **ohne** Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
8*5	40				
55*6	330				
100/20	5				
88-19	69				
66*2	132				
63/7	9				
370+1230	1600				
48/2	24				
624-328	296				
58*3	174				
2000*4	8000				
1600*20	32000				
66/6	11				
72/8	9				

132/11	12			
O2 Wert:		Zeit insgesamt:		

30' mit Sauerstoff

Test 2 mit Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
3*6	18				
102*3	306				
60/15	4				
45-33	12				
34*3	102				
27/3	9				
5320+280	5600				
63/3	21				
983-353	630				
33*4	132				
3400*4	13600				
1200*50	60000				
44/4	11				
49/7	7				
143/11	13				
O2 Wert:		Zeit insgesamt:			

30' ohne Sauerstoff

Test 2 ohne Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
3*8	24				
306*3	918				
3000/20	150				
77-49	28				
43*4	172				
45/9	5				
9660+140	9800				
54/3	18				
634-330	304				
54*4	216				
1600*3	4200				
50*1400	70000				

99/11	9			
36/9	4			
154/11	14			

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' mit Sauerstoff

Test 3 **mit** Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
8*6	48				
505*2	1010				
4000/20	200				
69-13	56				
74*3	222				
90/9	10				
5470+1230	6700				
66/2	33				
120-58	62				
46*3	138				
5500*4	22000				
1800*5	9000				
44/22	2				
72/8	9				
165/11	15				

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' ohne Sauerstoff

Test 3 **ohne** Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
6*6	36				
204*3	612				
3000/50	60				
74-45	29				
36*4	144				
99/9	11				
632+868	1500				
70/5	14				
666-245	421				
67*3	201				

3600*3	10800			
2000*50	100000			
44/4	11			
18/2	9			
176/11	16			

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' mit Sauerstoff

Test 4 mit Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
7*9	63				
106*3	318				
500/25	20				
83-55	28				
52*4	208				
96/8	12				
674+326	1000				
56/2	28				
234-150	84				
99*4	396				
2200*3	6600				
3500*12	42000				
58/2	29				
36/6	6				
69/3	23				

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' ohne Sauerstoff

Test 4 ohne Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
3*9	27				
505*6	3030				
3400/200	17				
90-74	16				
66*2	132				
90/6	15				
5499+601	6100				

70/5	14			
987-234	753			
92*4	368			
750*3	2250			
6200*12	74400			
65/5	13			
48/8	6			
44/4	11			

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' mit Sauerstoff

Test 5 **mit** Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
6*8	48				
105*5	525				
2400/20	120				
84-32	52				
35*4	140				
42/7	6				
9238+762	10000				
38/2	19				
872-682	190				
56*4	224				
1500*30	45000				
3200*5	16000				
33/11	3				
49/7	7				
65/5	13				

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' ohne Sauerstoff

Test 5 **ohne** Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
9*10	90				
205*6	1230				
1500/20	75				
84-27	57				

23*3	69			
57/3	19			
5222+1778	7000			
90/3	30			
627-182	445			
34*5	170			
3100*3	9300			
3200*30	96000			
88/8	11			
84/6	14			
132/11	12			

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' mit Sauerstoff

Test 6 **mit** Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
7*6	42				
125*3	375				
800/50	16				
24-11	13				
43*3	129				
56/4	14				
1490+310	1800				
38/2	19				
372-134	238				
82*3	166				
5200*3	15600				
3300*20	66000				
11/11	1				
56/8	7				
118/2	59				

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

30' ohne Sauerstoff

Test 6 **ohne** Sauerstoff

Rechnung	Ergebnis	Richtig	Falsch	Zeit	Bemerkungen
4*9	36				

301*5	1505			
4000/40	100			
65-45	20			
43*5	215			
63/7	9			
2341+359	2700			
46/23	2			
732-238	494			
62*4	248			
1200*12	14400			
4000*20	80000			
44/22	2			
81/9	9			
84/7	12			

O2 Wert:

Zeit insgesamt:

Einhaltung rechtlicher Vorgaben

Ich habe die Arbeit selbstständig und unter Aufsicht meines Betreuers/meiner Betreuerin verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet. Ich nehme zur Kenntnis, dass meine Arbeit zur Überprüfung der korrekten und vollständigen Angabe der Quellen mit Hilfe einer Software (eines Plagiaterkennungstools) geprüft wird. Zu meinem eigenen Schutz wird die Software auch dazu verwendet, später eingereichte Arbeiten mit meiner Arbeit elektronisch zu vergleichen und damit Abschriften und eine Verletzung meines Urheberrechts zu verhindern. Falls Verdacht besteht, dass mein Urheberrecht verletzt wurde, erkläre ich mich damit einverstanden, dass die Schulleitung meine Arbeit zu Prüfzwecken herausgibt.

14.10.2021 JULIUS FELNER