

Im Rausch der Tiefe

Die Toxikologie des Gerätetauchens
am Beispiel des Tiefenrausches



Marjolein Sascha Overberg

Maturaarbeit 2021

Klasse 4e

Gymnasium Kirschgarten Basel

Referenz: Christian Lischer

Korreferenz: Silvia Schwaller

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT	4
1.1	BEGRÜNDUNG DER THEMENWAHL	4
1.2	ERKLÄRUNG DES TAUCHSPEZIFISCHEN VOKABULARS	4
2	ABSTRACT	5
3	EINLEITUNG	6
3.1	THEORETISCHER HINTERGRUND	6
3.1.1	<i>Anatomie und Physiologie</i>	6
3.1.2	<i>Grundlagen der Gasgemische und Atemgase – chemischer Hintergrund</i>	7
3.1.3	<i>Physikalischer Hintergrund</i>	9
3.1.4	<i>Gastoxizität</i>	13
3.1.5	<i>Das Phänomen des Tiefenrausches</i>	14
3.2	VERSUCHSZIELE	18
3.3	FRAGESTELLUNGEN	18
3.4	HYPOTHESEN	19
4	METHODE	20
4.1	ART DER STUDIE	20
4.2	AUFBAU DER BEFRAGUNG	20
4.3	HINTERGRUND ZUM AUFBAU DER BEFRAGUNG	20
4.4	PROBANDEN	21
4.5	ERGÄNZENDE INFORMATIONSGEWINNUNG DURCH FACHPERSONEN	22
4.6	AUSWERTUNGSSTRATEGIE	22
5	ERGEBNISSE	23
5.1	QUANTITATIVE UMFRAGE	23
5.2	QUALITATIVE UMFRAGE	34
6	INTERPRETATION UND FAZIT	36
6.1	INTERPRETATION	36
6.2	FAZIT	41
7	NACHWORT	43
7.1	REFLEKTION DES ARBEITSPROZESSES	43
7.2	DANKSAGUNG	44
8	QUELLENVERZEICHNIS	46
8.1	GEDRUCKTE QUELLEN	46
8.2	ELEKTRONISCHE QUELLEN	46
8.3	BILDQUELLEN	47
8.4	MÜNDLICHE QUELLEN	47
8.5	ABBILDUNGSVERZEICHNIS UND TABELLENVERZEICHNIS	48
9	ANHANG	49
9.1	AUSFÜHRUNGEN DER THEORIE UND ERGÄNZENDE INFORMATIONEN	49
9.2	LEGENDE TAUCHSPEZIFISCHES VOKABULAR	57
9.3	ORIGINALDOKUMENTE	58
9.4	ARBEITSJOURNAL	81
9.5	BESPRECHUNGSPROTOKOLLE	84

Autentizitätserklärung

«Hiermit erkläre ich, die vorliegende Maturaarbeit selbst verfasst (sowie das in der Arbeit beschriebene Produkt selbst gestaltet bzw. das beschriebene Projekt selbst durchgeführt) zu haben. Stellen, die wörtlich oder sinngemäss anderen Veröffentlichungen oder anderen Quellen, insbesondere dem Internet, entnommen sind, sind als solche eindeutig und wieder-auffindbar erkenntlich gemacht. Alle diese Quellen sind vollständig und abschliessend im Quellenverzeichnis aufgeführt. Die vorliegende Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht veröffentlicht.»

Ort: Basel

Datum: 10/10/2021

Unterschrift : 

1 Vorwort

1.1 Begründung der Themenwahl

Bereits vor der Ideenfindung für meine Maturaarbeit war für mich klar, dass ich eine Arbeit über ein Thema verfassen will, für welches ich tatsächlich ehrliches Interesse habe. Ich habe schon sehr früh eine grosse Faszination für Medizin entwickelt und plane, nach der Matura Humanmedizin zu studieren. Daher war für mich sofort klar, dass ich eine Maturaarbeit im Fachgebiet der Medizin, respektive der Humanbiologie schreiben möchte.

Ich habe vor 3,5 Jahren meinen ersten Tauchkurs auf Fuerteventura besucht und seither mehrere Brevets absolviert. Neben den Tauchgängen im Urlaub, habe ich auch das Tauchen bei uns in der Schweiz, sowie regelmässiges Technik-Training für mich entdeckt. Mein Interesse am Tauchsport basiert auf vielen verschiedenen Aspekten. Das Erleben einer völlig anderen Welt und die sozialen Aspekte wie der Kontakt mit anderen Taucherinnen Tauchern im Club oder die Interaktion mit neuen Menschen in der Tauchschule, stehen dabei sicherlich im Vordergrund. Aber auch der Nervenkitzel und die beinahe unendlichen Möglichkeiten sich zu verbessern und weiterzubilden, machen diese Sportart für mich aus. Durch persönliche Erfahrungen und Beobachtungen sowie Erzählungen und theoretische Inputs während meiner Ausbildungen wurde die Stickstoffnarkose immer wieder zur Thematik. Somit war es für mich naheliegend, diese im Rahmen meiner Maturaarbeit näher zu erforschen.

Mit der Untersuchung der Toxikologie des Gerätetauchens werden Aspekte der Chemie, Physik, Neurologie, Medizin und des Sportes betrachtet, und damit meine akademischen, beruflichen und privaten Interessen kombiniert.

1.2 Erklärung des tauchspezifischen Vokabulars

Eine Legende mit den tauchspezifischen Begriffen und deren Definitionen befindet sich im Anhang dieser Arbeit.

2 Abstract

This study evaluates the effects of Nitrogen on the human body while SCUBA diving. When under a lot of pressure, Nitrogen can have similar intoxicating effects on humans as alcohol. This phenomenon is known as Nitrogen narcosis or also as inert gas narcosis, raptures of the deep or the Martini effect. 221 certified SCUBA divers were asked various questions concerning their general diving habits, their experiences with N_2 -narcosis, their feelings and symptoms during the narcosis (if they have experienced it before), their patterns of behaviour when under the influence and some general evaluations about the subject. Additionally, 4 experts were asked for a set of statements regarding their experience with N_2 -narcosis, their views on consequences of the subject as well as the general perception of the topic within the diving community. It was found, that 56% of the probands have personally experienced N_2 -narcosis before. The average depth, in which the phenomenon was experienced, was 41.6 metres, with 50% of the probands having experienced N_2 -narcosis between 35 m and 45 m of depth. More people with higher certifications have made experiences with N_2 -narcosis before than divers with lower qualification, however a direct connection between higher qualifications and the occurrence of N_2 -narcosis is unlikely, as other factors such as depth and experience play an important role. Divers mainly experienced feelings such as light-heartedness and numbness, but also euphoria and fear. The range of symptoms was wide, with the most common ones being weakened ability to concentrate, lower judgement and limited sense of orientation. But also, symptoms like a metallic taste in the mouth, tunnel vision or excessive euphoria were mentioned. The divers' behaviour varied a lot, some divers tried to compensate the narcotic effects through increased focus and concentration, others alerted their buddies, whereas some others (willingly or unwillingly) decided to ascend. Some divers explained that they behaved very passively and unconcentrated, whereas others stated, that they acted recklessly and unreasonable, which is the behaviour most commonly associated with N_2 -narcosis. When asked how the divers feel their behaviour was influenced by the narcosis, the evaluations varied, the average number being 5.27 out of 10 with two peaks at 3 and 7. In some general evaluation the divers made, it became evident that they think of the frequency of N_2 -narcosis under 25 metres of depth as relatively low (mainly 1-4 out of 10), but the danger of N_2 -narcosis as relatively high (mainly 7-10 out of 10). When being asked how often diving accidents occur due to N_2 -narcosis, the average estimate was at 5.52 out of 10, with a very broad spectrum of answers given. In regard to the evaluations of the experts which stated, that the severity of the phenomena is widely overlooked, it is likely that the perception of the divers may differ from reality. Therefore, it was concluded, that although Nitrogen narcosis is common, it is a phenomenon that is very complex and not fully researched in its origin and its entirety.

3 Einleitung

3.1 Theoretischer Hintergrund

3.1.1 Anatomie und Physiologie

Anatomie

Das Atemorgan wird durch die physikalischen Bedingungen während des Gerätetauchens stark beeinflusst. Der Aufbau des Organs ist komplex und besteht aus diversen Bestandteilen, welche alle zur Funktion der Atmung beitragen (Klingmann et al. 2007).¹

Physiologie

Die Atmung ist die zentrale Aufgabe des Atemorgans. Dieser Vorgang hilft der Gewinnung von Energie, wobei in innere und äussere Atmung differenziert wird. Sowohl der zelluläre Gasaustausch als auch Ventilation und alveolärer Gasaustausch sind lebensnotwendig (Klingmann et al. 2007). Die Ventilation ist verantwortlich für die Aufnahme von Sauerstoff aus der Umgebung, Bauchatmung und Brustatmung sind die wichtigen Mechanismen dafür (Eckebrecht 2008). Die grundlegende Funktion des kardiopulmonalen Systems ist der Gasaustausch zwischen der Atemluft und dem Blut, welcher über die alveolokapilläre Schranke erfolgt (Klingmann et al. 2007).²

Atmung mit Atemgas unter Wasser

Eine Druckzunahme führt zu ansteigender Dichte der Luft. Dabei kommt es zu einer Zunahme des Atemwiderstandes, welche die Ventilation beeinflusst. Unter normalen Bedingungen fliesst die Luft laminar und mit niedrigem Strömungswiderstand in den Atemwegen. Durch die höhere Dichte und somit der grösseren Anzahl an Gasmolekülen beim Tauchen müssen pro Zeiteinheit mehr Moleküle durch die Atemwege strömen, wodurch es zu örtlichen Turbulenzen kommen kann. Diese führen wiederum zur Erhöhung des Strömungswiderstands und somit zu mehr Turbulenzen. Es kann als Folge des erhöhten Atemwiderstandes zu erschwerter Atemarbeit kommen und im schlimmsten Fall zu einer alveolären Hypoventilation. Dass man Luft nur unter grosser Anstrengung unter Wasser atmen kann, ist ein Grund weshalb diese als Atemgas in grossen Tiefen nicht geeignet ist. Stickstoff ($\rho_{N_2} = 1,25 \text{ g / l}$) ist als Inertgas nicht essenziell, somit ist auch ein anderes Inertgas mit geringerer Dichte einsetzbar. Dies können beispielsweise Helium ($\rho_{He} = 0,18 \text{ g / l}$) oder Wasserstoff

¹ Ausführung Anatomie im Anhang unter 9.1

² Ausführung Physiologie im Anhang unter 9.1

($\rho_{H_2} = 0,09 \text{ g / l}$) sein, welche zusätzlich aufgrund ihrer geringeren narkotischen Wirkung in grösseren Tiefen Vorteile bringen (Klingmann et al. 2007).

Neurologie

Der Tiefenrausch kann neurologische Abläufe stören, beispielsweise das periphere und das zentrale Nervensystem, da beide Teile sehr eng zusammenarbeiten. Dabei können Synapsen gestört oder beeinflusst werden und kurzzeitige neurologische Defizite entstehen (Klingmann et al. 2007).

3.1.2 Grundlagen der Gasgemische und Atemgase – chemischer Hintergrund

Als atmosphärische wird die Luft bezeichnet, welche wir täglich einatmen.³ Vereinfacht wird dieses Gasgemisch meistens angegeben als (Tabelle 1, Stand 2020):

Gas	Volumenprozent
<i>Stickstoff (N₂)</i>	78,08%
<i>Sauerstoff (O₂)</i>	20,95%
<i>Kohlendioxid (CO₂)</i>	0,04%
<i>Argon und andere Gase</i>	0,93%

Tabelle 1: Vereinfachte Komposition der atmosphärischen Luft, Stand 2020

(Erdatmosphäre Wikipedia, abgerufen 16/09/21)

Vereinfacht wird Luft, insbesondere umgangssprachlich, als Gasgemisch bestehend aus 78% *Stickstoff* und 21% *Sauerstoff* bezeichnet.

Atemgaskomponenten

Beim Gerätetauchen erfolgt die Atemluftversorgung des Tauchers über einen Schlauch oder einen mitgeführten Gasbehälter, sogenannte Druckgasflaschen (König et al. 2007). Diese sind mit verschiedenen Atemgasen gefüllt, welche den Taucher unter Wasser mit Atemluft versorgen. Die zentralen Komponenten sind Sauerstoff und Inertgase, wovon Stickstoff im Tauchsport am häufigsten zum Einsatz kommt. Aber auch Helium ist für die Durchführung von technischen Tauchgängen wichtig.

³ Ausführung Bestandteile atmosphärische Luft im Anhang unter 9.1

Inertgase

Zu den Inertgasen gehören die Edelgase *He, Ne, Ar, Kr, Xe* sowie N_2 . Diese Gase sind inert, was bedeutet, dass sie sehr reaktionsträge Stoffe sind. Unabhängig von physikalischen oder chemischen Bedingungen sind sie nicht an Stoffwechselprozessen beteiligt und dienen allein der Verdünnung des essenziellen Sauerstoffes. Beim Aufenthalt unter erhöhtem Druck werden Inertgase nach dem Gesetz von Henry vermehrt im Gewebe gelöst und reichern sich an. Dabei sind die Art des Gewebes und dessen Durchblutung ausschlaggebend für den Grad und die Geschwindigkeit der Aufsättigung; mehr Durchblutung führt zu schnellerer und stärkerer Aufsättigung. Bei Druckreduktion treten die zuvor in den Geweben gelösten Gase wieder aus. Geschieht dies zu schnell, können diese Inertgase nicht mit dem Blut abtransportiert und über die Lunge ausgeatmet werden. Sie perlen deshalb noch im Gewebe oder Blut, was schwerwiegende Folgen haben kann wie die Dekompressionskrankheit oder das Auftreten von Gefässverstopfungen (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Die verschiedenen Atemgaskomponenten wie Sauerstoff, Stickstoff oder Helium haben verschiedene Eigenschaften und somit auch unterschiedliche Vor- und Nachteile für die Verwendung als Atemgas.⁴

Atemgase/Gasgemische

Druckluft

Druckluft, auch normale Luft oder Pressluft genannt, ist das verbreitetste Atemgasgemisch im Gerätetauchen. Das Gasgemisch setzt sich vereinfacht aus 21% O_2 und 78% N_2 sowie Spuren von *Edelgasen und CO_2* zusammen. Als Grenze für Sporttaucher wird aufgrund der narkotischen Wirkung von N_2 eine Tiefe von 40 m empfohlen. Ab Tiefen von 60-70 m ist durch die Gefahr einer Sauerstoffvergiftung das Risiko viel zu hoch (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Sauerstoff

Reiner Sauerstoff wird im technischen Tauchen als Dekompressionsgas verwendet, was die Dekompressionszeit verkürzt. Aufgrund seiner Toxizität ab einem bestimmten Partialdruck, ist Sauerstoff nur bis maximal 6 m Tiefe verwendbar (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

⁴ Ausführung Atemgaskomponenten im Anhang unter 9.1

Nitrox

Nitrox, oder auch EAN (Enriched-Air-Nitrox), ist ein Gasgemisch, welches sich, wie atmosphärische Luft, aus Stickstoff (**Nitrogen**) und Sauerstoff (**Oxygen**) zusammensetzt, jedoch einen höheren Sauerstoffanteil besitzt wie gewöhnliche Luft. Meist wird dem Namen noch eine Zahl angehängt, welche über den Sauerstoffanteil Auskunft gibt. Nitrox 21 entspricht somit atmosphärischer Luft (Klingmann et al. 2007). Während im Sporttauchen Nitrox 32 bis Nitrox 40 am verbreitetsten sind, wird im technischen Tauchen auch Nitrox mit höherem Sauerstoffanteil verwendet (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21). Durch die Erhöhung des Sauerstoffanteils wird der Stickstoffanteil gesenkt, was die Gefahr der Dekompressionskrankheit und die Symptomatik des Tiefenrausches verkleinert. Zudem sind längere Nullzeiten und häufigere Tauchgänge möglich, da die Stickstoffbelastung geringer ist. Durch den höheren Sauerstoffanteil steigt jedoch die Gefahr der Sauerstoffvergiftung, weshalb es für Nitrox-Tauchgänge ganz klar definierte Tiefengrenzen gibt (Klingmann et al. 2007). Diese betragen 40 m bei Nitrox 32 und 36 m bei Nitrox 36 (König et al. 2007).

Im Sporttauchen ist Nitrox definiert als: $Nitrox = N_2 + O_2$ ($N_2 < 78\%$, $O_2 > 21\%$)

(König et al. 2007)

Technisches Tauchen

Als technisches Tauchen werden Tauchgänge jenseits des Sporttauchens bezeichnet. Damit sind längere und extremere Tauchgänge mit anderen Atemgasen als Pressluft und Nitrox gemeint, welche auch Wechsel der Atemgase während des Tauchganges erfordern. Die Motivation liegt wohl bei den meisten technischen Tauchern dabei, die Grenzen des bisher Erreichten zu überschreiten und immer grössere Tiefen zu erkunden. Zusätzlich besteht meistens eine Motivation darin, eine Höhle oder ein Wrack in solchen Tiefen zu erkunden. Das Tauchen unter solch extremen Druckgegebenheiten ist sehr anspruchsvoll, denn die Tiefe bringt viele verschiedene Problematiken in Bezug auf die Gasgemische mit sich (Klingmann et al. 2007).⁵

3.1.3 Physikalischer Hintergrund

Die Grundlage für das Verständnis von aussergewöhnlichen, spezifisch im Tauchsport auftretenden Phänomenen liegt in der Physik und der Chemie. Der Taucher befindet sich beim Tauchgang in einem für Menschen ungewohnten Umfeld und unterliegt somit fremden,

⁵ Ausführung der Problematiken vom Technischen Tauchen im Anhang unter 9.1

respektive ungewohnten Einflüssen. Daher ist insbesondere die Physik von grösster Bedeutung. Um tauchmedizinische Auswirkungen verstehen und behandeln zu können, ist es essenziell die elementaren Prinzipien und Gesetze der Physik zu beherrschen (Klingmann et al. 2007).

Druck

Der Druck p ist physikalisch definiert als Kraft F , welche senkrecht auf eine Fläche A wirkt. Somit gilt also: $p = \frac{F}{A}$. Wirkt eine Kraft von 10 N (Newton) auf eine Fläche von 1 cm^2 , so ist $p = \frac{10\text{ N}}{0,0001\text{ m}^2} = 10^5\text{ Pa}$ (Pascal) oder 1 bar , da $10^5\text{ Pa} = 1\text{ bar}$ entspricht. *Bar* ist keine SI-Einheit, es ist jedoch die im Tauchsport geläufigste Einheit für den Druck p . Dieser ist von Bedeutung, da er Auswirkungen auf den Gasverbrauch, die Dekompression, die Tarierung und indirekt auch auf den Wärmeverbrauch hat.

Auf Meereshöhe beträgt der Luftdruck $1,013\text{ bar}$, vereinfacht kann für Berechnungen jedoch davon ausgegangen werden, dass der Luftdruck auf Meereshöhe 1 bar entspricht und pro 1000 m um $0,1\text{ bar}$ abnimmt. Tatsächlich wird der Verlauf durch die barometrische Höhenformel beschrieben, welche nicht linear, sondern exponentiell verläuft. Diese ist aber nur bei Tauchgängen in Höhen ab 600 m. ü. M von Signifikanz.

Der Wasserdruck nimmt mit zunehmender Tiefe zu, die Zunahme ist dabei von der Dichte des Wassers abhängig ($\rho_{\text{salzwasser}} > \rho_{\text{süsswasser}}$). Die Druckzunahme in der Tiefe erfolgt aufgrund des hydrostatischen Drucks, also des Drucks, welcher die Wassersäule von oben auf den Taucher ausübt. Dieser wird berechnet nach $p_{\text{statisch}} = \frac{F}{A} = \rho_{\text{H}_2\text{O}} \times h \times g$ mit $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Daher wird zur Berechnung von Tauchgängen grundsätzlich die folgende Annahme getroffen: Druckzunahme = plus 1 bar pro 10 m Tiefe. Daraus resultiert der Umgebungsdruck, welcher der Summe von Luftdruck und hydrostatischen Druck entspricht.

Beispiel: Ein Taucher in 32 m Tiefe ist einem Umgebungsdruck von 1 bar Luftdruck + $3,2\text{ bar}$ Wasserdruck $\approx 4,2\text{ bar}$ ausgesetzt. Der Wert des Umgebungsdrucks ist ausschlaggebend für die Planung des Gasverbrauchs, der Tarierung und der Dekompressionsphasen (Klingmann et al. 2007).

Dalton

Das Gesetz von Dalton besagt, dass sich der Gesamtdruck p eines Gasgemisches aus der Summe der einzelnen Partialdrücke p_i der jeweiligen Gase ergibt. Dabei beschreibt der

Partialdruck den Druck, den das Gas beim alleinigen Vorhandensein im entsprechenden Volumen ausüben würde (Partialdruck Wikipedia abgerufen 02/10/21) (König et al. 2007).

$$\text{Somit: } p_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1}^k p_i \text{ bei } k \text{ Komponenten \& } p_i = \frac{\text{prozentualer Volumenanteil}}{100} \times \text{Gesamtdruck}$$

(Partialdruck Wikipedia, abgerufen 02/10/21) (König et al. 2007)

Aus der Zustandsgleichung idealer Gase folgt $n_{\text{gesamt}} = \sum_{i=1}^k n_i$, das Verhältnis von Stoffmenge und Druck kann folglich als

$$\frac{n_i}{n_{\text{gesamt}}} = \frac{p_i}{p_{\text{gesamt}}}$$

beschrieben werden (Partialdruck Wikipedia abgerufen 02/10/21). Somit gilt für die Partialdrücke von Luft auf Meereshöhe (Annahme $p = 1 \text{ bar}$):

$$p_{\text{Luft}} = p_{N_2} + p_{O_2} = 0,79 \text{ bar} + 0,21 \text{ bar} = 1 \text{ bar}$$

Die Partialdrücke der einzelnen Gaskomponenten sind im Tauchsport von grosser Signifikanz. Die Partialdrücke der Inertgase (hauptsächlich Stickstoff) sind ausschlaggebend für den Tiefenrausch und die Dekompressionskrankheit, während der Sauerstoffpartialdruck aufgrund seines toxischen Grenzwertes eminent wichtig ist (Klingmann et al. 2007).

Partialdrücke von Druckluft (21% O_2 , 78% N_2) in Wassertiefen (Tabelle 2):

Wassertiefe	Umgebungsdruck	Sauerstoffpartialdruck	Stickstoffpartialdruck
0 m	1 bar	0,21 bar	0,78 bar
10 m	2 bar	0,42 bar	1,56 bar
20 m	3 bar	0,63 bar	2,34 bar
30 m	4 bar	0,84 bar	3,12 bar
40 m	5 bar	1,05 bar	3,90 bar
50 m	6 bar	1,26 bar	4,68 bar
60 m	7 bar	1,47 bar	5,46 bar
70 m	8 bar	1,68 bar	6,24 bar
80 m	9 bar	1,90 bar	7,02 bar

Tabelle 2: Partialdrücke von Sauerstoff und Stickstoff (Druckluft) in verschiedenen Wassertiefen

(Berechnungen gemäss $p_i = \frac{\text{prozentualer Volumenanteil}}{100} \times \text{Gesamtdruck}$ nach König et al. 2007)
(Partialdruck Wikipedia, abgerufen 02/10/21)

Das Gesetz von Henry

Das Gesetz von Henry beschreibt, wie viel Gas i in einer Flüssigkeit j gelöst werden kann. Das Gesetz besagt, dass die Konzentration eines Gases i in einer Flüssigkeit j direkt proportional zum Partialdruck des entsprechenden Gases über der Flüssigkeit ist. Diese Proportionalität wird durch die Henry-Konstante beschrieben (Bühler 2021).

$$\text{Dabei gilt: } \frac{c_{Fl}}{p} = H = \textit{konstant}$$

wobei $p = \textit{Partialdruck des Gases über der Flüssigkeit}$

$$c_{Fl} = \textit{Konzentration des Gases in der Flüssigkeit}; [c_{Fl}] = \frac{\textit{mol}}{\textit{m}^3}$$

$$H = \textit{Henry - Konstante}; [H] = \frac{\textit{mol}}{\textit{Pa} \times \textit{m}^3}$$

(Bühler 2021)

Die Zeit, bis die Sättigung erreicht ist, hängt von der Oberflächengrösse der Flüssigkeit ab. Je grösser diese ist, desto schneller wird die Sättigung erreicht (König et al. 2007).

Sowohl die Aufsättigung eines Gases im Gewebe / in einer Flüssigkeit bei Druckerhöhung als auch die Entsättigung sind exponentielle Prozesse. Das prozentuale Wachstum / die prozentuale Abnahme pro Zeiteinheit ist konstant (Bühler 2021).

$$\text{Die Aufsättigung verläuft gemäss: } K(t) = K_{max} \times (1 - e^{-\lambda \times t})$$

$$\text{Die Entsättigung verläuft gemäss: } K(t) = K_{max} \times e^{-\lambda \times t}$$

(Bühler 2021)

Die Sättigungszeit in einem spezifischen Gewebe hängt dabei vom Löslichkeitskoeffizienten und von der spezifischen Durchblutung des Gewebes ab. Beim Gerätetauchen löst sich das Element Stickstoff im Blut und Gewebe des Körpers, bei langen und tiefen Tauchgängen und schneller Dekompression kann der Stickstoff ausperlen, was zur Dekompressionskrankheit führt (König et al. 2007).

Gasgesetze

Die Gasgesetze von Boyle-Mariotte, Guy-Lussac und Amontons sowie die universelle Gasgleichung sind im Tauchsport ebenfalls von Bedeutung. In Bezug auf den Tiefenrausch sind sie nur indirekt von Wichtigkeit, da diese Phänomene zwar präsent, jedoch bezüglich der Symptomatik und Ursache nicht verantwortlich sind.⁶

3.1.4 Gastoxizität

Während des Tauchens können verschiedene physiologische und nichtphysiologische Gase Symptome verursachen. Im Tauchsport sind dabei insbesondere die Stickstoffnarkose und die Sauerstoffvergiftung von Bedeutung.

Stickstoffnarkose

Der Stickstoffpartialdruck übt in komprimierter Luft in Tiefen ab ungefähr 30 *m* einen narkoseähnlichen Effekt aus, welcher ähnliche Symptome und Anzeichen wie eine Alkoholvergiftung hat (Verhaltens- und Persönlichkeitsveränderung, eingeschränkte Urteilsfähigkeit, Beeinträchtigung der neuromuskulären und intellektuellen Leistung etc.) (siehe 3.1.5) (Bove, abgerufen 01/09/21).

Sauerstofftoxizität

Der absolute Wert, bei welchem eine Oxidose auftritt, ist nicht überall vollständig übereinstimmend. Als Richtwert wird häufig ein Wert von 1,6 *bar* verwendet. Übersteigt der Sauerstoffpartialdruck diesen Wert, droht eine Sauerstoffvergiftung. Dieses Phänomen wird als Paul-Bert-Effekt beschrieben, wenn es das Nervensystem betrifft (Vergiftung des ZNS) und somit neurologische Effekte mit sich bringt. Symptome für eine akute Oxidose sind Unruhe, unkontrolliertes Zucken der Gesichtsmuskeln, Tunnelblick, metallischer Geschmack auf der Zunge, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen. Darauf folgen oftmals generalisierte Krampfanfälle, was normalerweise zum Ertrinken führt. Häufig sind die Anzeichen eines Sauerstoffkrampfes zu kurz, um adäquat zu reagieren. Selbst wenn der Tauchbuddy sofort zu Hilfe eilt, kann er weder den Krampfanfall kontrollieren noch wird er das Wettrennen zur Oberfläche gewinnen. Unter Wasser nehmen sich Taucher vor dem Krampfanfall häufig den Atemregler aus dem Mund. Diesen während des Krampfanfalles wieder in den Mund zu bekommen, ist durch die verkrampfte Kiefermuskulatur unmöglich. Während des Krampfanfalles kann keine Luft aus der Lunge entweichen, was dazu führt, dass bei einem Notaufstieg neben der Dekompressionskrankheit auch noch eine Lungenüberdehnung oder ein Lungenriss auftreten

⁶ Ausführung Gasgesetze im Anhang unter 9.1

wird. Dies wäre theoretisch besser als der sofortige Ertrinkungstod, jedoch würde die Oberfläche kaum bis nie rechtzeitig erreicht (aquamed, abgerufen 01/09/21).

Weitere toxikologische Phänomene

Kohlenstoffdioxidvergiftungen und das High Pressure Nervous Syndrom sind weitere toxikologische Phänomene, welche beim Tauchen vorkommen können. Diese treten jedoch seltener auf.⁷

Bei Gasen, welche ab einem bestimmten Partialdruck und somit einer bestimmten Tauchtiefe toxisch wirken, kann eine maximale Einsatztiefe *MOD* für ein Gas *i* in einem Gasgemisch berechnet werden (König et al. 2007).

$$\text{Es gilt: } MOD = \left(\frac{p_{Gas_{i_{max}}}}{f_{Gas_i}} - 1 \right) \times 10$$

wobei $p_{Gas_{i_{max}}}$ = maximal erlaubter Partialdruck von *i*

f_{Gas_i} = Mengenanteil des Gases *i*

Für die *MOD* von Sauerstoff bei Atmung von normaler atmosphärischer Luft gilt somit:

$$p_{O_2_{max}} = 1,6 \text{ bar}, f_{O_2} = 0,21 = 21 \div 100$$

$$MOD(O_2) = \left(\frac{p_{O_2_{max}}}{f_{O_2}} - 1 \right) \times 10 = \left(\frac{1,6}{0,21} - 1 \right) \times 10 \approx 66,19 \text{ m}$$

(König et al. 2007)

3.1.5 Das Phänomen des Tiefenrausches

Der Begriff des Tiefenrausches wird in den meisten Tauchausbildungen relativ früh thematisiert, allerdings wird dies oft nur sehr flüchtig und zusammengefasst getan. Dies liegt vermutlich hauptsächlich daran, dass das Phänomen relativ komplex ist und viele verschiedene Faktoren das Auftreten der Symptomatik verstärken und beeinflussen. Symptome äussern sich sehr vielseitig und können unterschiedlich wahrgenommen werden.

⁷ Ausführung weitere toxikologische Phänomene im Anhang unter 9.1

Ursache

Der Tiefenrausch, welcher auch als Stickstoffnarkose oder Stickstoffvergiftung bezeichnet wird, beschreibt die narkotische Wirkung des Stickstoffs beim Gerätetauchen. Dieser gelangt durch das Atemgas in den menschlichen Körper und wirkt bei höherem Stickstoffpartialdruck, welcher physikalisch durch grössere Tiefen verursacht wird, anders als an der Wasseroberfläche. Generell gibt es keine explizite Tiefe, bei welcher der Tiefenrausch skalierbar auftritt, da dieser von einer Menge verschiedener Faktoren bestimmt wird. Als Richtwert für das Auftreten erster Anzeichen des Tiefenrausches bei Luftatmung wird häufig von einer Wassertiefe ab 25 bis 30 m ausgegangen, jedoch ist es durchaus möglich, dass Symptome schon bei nur wenigen Metern Wassertiefe auftreten können (Klingmann et al. 2007). Häufig wird auch eine Tiefe ab 40 m mit dem Tiefenrausch in Verbindung gebracht. Grundsätzlich basiert der Tiefenrausch auf einem narkotischen Effekt des Stickstoffs auf das Nervensystem, dennoch sind die biochemischen Abläufe zum jetzigen Zeitpunkt unbekannt. Wichtig ist anzumerken, dass bei der Stickstoffvergiftung nicht von einer eigentlichen Toxizität gesprochen werden kann, denn die Symptomatik und Effekte sind vollständig reversibel, sie verschwinden durch Druckreduktion wieder zu 100% (Klingmann et al. 2007). Gelöst im Blut gelangt der Stickstoff ins Gehirn und wird dort vermehrt in den Zellmembranen der Nervenzellen im Gehirn eingelagert (GESUNDHEIT.gv.at, abgerufen 24/08/21). Durch diese Einlagerungen kommt es bei den Synapsen zu einer Verzögerung der Impulsweitergabe, wodurch der Stoffwechsel im Gehirn beeinflusst wird, so der heutige Stand der Forschung (GTUEM, abgerufen 24/07/21). Es wird allgemein davon ausgegangen, dass die durch die erhöhte Konzentration des Inertgases Stickstoff verursachte Intertgasnarkose auf einer Änderung der elektrischen Zellmembranpotenziale infolge des Stickstoff-Überangebots beruht. Dadurch können nach dem sogenannten «critical volume concept» Potenziale beim Erreichen eines bestimmten Volumens nicht mehr übertragen werden (Klingmann et al. 2007).

Symptome

Die Symptome des Tiefenrausches sind vielseitig und das Auftreten der Symptomatik ist variabel. Symptome sind von der Tauchtiefe sowie von vielen anderen Faktoren abhängig. Es gibt deshalb keine skalierbare Tiefe, bei welcher der Tiefenrausch für jeden Taucher in Erscheinung tritt. Ebenfalls wird die Stickstoffnarkose nicht jedes Mal gleich gut oder schlecht vom selben Taucher vertragen: Studien wiesen eine mehr oder weniger grosse Variabilität des Auftretens sowohl in der gleichen tauchenden Person als auch bei verschiedenen Tauchern nach. Grundsätzlich gilt die Annahme, dass sich die Symptome mit zunehmender Tauchtiefe verstärken und in der Tiefe schnell einsetzen. Dafür klingt diese Inertgasnarkose bei sinkendem Inertgasdruck schnell wieder ab, sodass ein Auftauchen um nur wenige Meter oft genug ist, um den Tiefenrausch und die daraus resultierenden Symptome

zu beheben. Bei schneller Kompression ist ein Auftreten des Tiefenrausches wahrscheinlicher als bei einer langsameren Kompression. Subjektiv wird der Tiefenrausch gar nicht immer erkannt. Erste Wirkungsweisen des Stickstoffs können eine milde Euphorie beim betroffenen Taucher und Einschränkungen bei der Ausführung von ungewohnten Tätigkeiten sein. Solche Effekte treten ab ungefähr *2 bis 4 bar*, also ab einer Wassertiefe zwischen 10 und 30 *m* auf. Ab circa *4 bar* können Einschränkungen der Entscheidungsfähigkeit und des Kurzzeitgedächtnisses sowie geringere manuelle Geschicklichkeit dazukommen. Der Verlust der Selbstkontrolle, Albernheit, unmotiviertes Lachen, Ideenfixation, Erinnerungslücken und Einschränkungen der Rechen- und Konzentrationsfähigkeit treten gewöhnlicherweise ab einem Druck von *4 bis 6 bar*, also ab einer Tiefe von 30 bis 50 *m*, auf. Ab einem Druck von etwa *6 bar* können Schläfrigkeit, eingeschränkte Urteilsfähigkeit und Halluzinationen dazukommen. Bei gewöhnlicher Luftatmung tritt der Verlust des Bewusstseins für gewöhnlich ab *10 bar* oder 90 *m* ein (mit Pressluft sollte man generell nicht in Tiefen tauchen, bei welchen solch grosse Drücke wirken, da andere Elemente toxisch wirken) (Klingmann et al. 2007).

Andere variable Symptome des Tiefenrausches können verminderter Orientierungssinn, falsches Farbsehen, metallischer Geschmack im Mund, akute Sinnestäuschung, Tinnitus und vermindertes Sichtfeld/Tunnelblick sein. Die Wahrnehmung dieser Symptome kann beim betroffenen Taucher sowohl positive Emotionen (Euphorie, Glück, Unbeschwertheit, Ausgeglichenheit) als auch negative Emotionen (Angst, Panik, Unruhe, Benommenheit) auslösen. Diese Affekte können sehr ausschlaggebend dafür sein, wie sich die Situation weiterentwickelt (GESUNDheit.gv.at, abgerufen 24/08/21) (Tiefenrausch Wikipedia, abgerufen 07/10/21).

Häufig wird der Tiefenrausch mit einem Alkoholrausch verglichen. Dieser Vergleich ist durchaus berechtigt. Denn sowohl beim Alkohol als auch beim Stickstoff ist es möglich, dass man es als Aussenstehender einer betroffenen Person entweder nicht ansieht und der Rausch verborgen bleibt oder gegensätzlich dazu, dass sich die berauschte Person völlig gehen lässt und die Selbstkontrolle verliert. Gerade Letzteres kann für einen Taucher im Tiefenrausch fatale Folgen haben, es besteht die realistische Gefahr zu ertrinken (Bühlmann et al. 2002).

Nicht immer muss eine Euphorie das erste Anzeichen des Tiefenrausches sein. Die Symptomatik kann sich auch durch unbegründete Angst- oder Schreckensreaktionen äussern. Nicht jeder Mensch hat eine gleiche Toleranz für Stickstoff, auch der persönliche Zustand zur Zeit des Tauchgangs beeinflussen die Anfälligkeit. Die Stickstoffnarkose tritt eher auf, wenn der Körper geschwächt ist oder unter grosser Belastung steht. Weitere verstärkende Faktoren

sind Erschöpfung, Alkohol, Unerfahrenheit, Stress, Drogen, Sedativa, Schlafmangel, Kälte, schlechte Sicht/Dunkelheit oder eine Erhöhung des CO_2 -Partialdrucks (Klingmann et al. 2007).

Massnahmen

Um die geschilderte Symptomatik zu beheben, muss bei Tauchgängen, welche tiefer als 60 m sind, unbedingt mit einer anderen Zusammensetzung von Atemgasen als Luft getaucht werden. Dabei wird die Stickstoffkonzentration gesenkt und durch ein Inertgas mit geringerem narkotischem Potenzial wie Helium ersetzt. Dadurch, dass die Symptome bei geringerem N_2 - Partialdruck schnell abklingen, ist die wichtigste Massnahme bei Symptomen, auf eine geringere Tiefe aufzutauchen und somit den Partialdruck des Stickstoffs zu senken (Klingmann et al. 2007).

3.2 Versuchsziele

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Aspekt der Toxikologie des Gerätetauchens genauer zu analysieren. Der Fokus liegt hierbei auf den Auswirkungen des Stickstoffs auf den menschlichen Körper und folglich auf der Analyse des Tiefenrausches. Zentral ist die statistische Ermittlung von Abundanz, erlebter Symptomatik und Gefühlen, Verhalten, Signifikanz und Relevanz des Tiefenrausches im Tauchsport.

3.3 Fragestellungen

- Wie viele Taucher*innen einer Probandengruppe haben schon Erfahrungen mit dem Tiefenrausch gemacht und in welcher Tiefe trat dieser durchschnittlich auf?
- Besteht zwischen dem Auftreten des Tiefenrausches und der Brevetierung des/der betroffenen Taucher*in ein Zusammenhang?
- Welche Gefühle und Symptomatik treten während eines Tiefenrausches auf?
- Wie haben sich betroffene Taucher*innen während des Tiefenrausches verhalten und wie wurde die Beeinflussung dieses Verhaltens im Nachhinein eingeschätzt?
- Wie schätzen Taucher*innen das Vorkommen, die potenziellen Gefahren und das Auftreten von daraus resultierenden Tauchunfällen des Tiefenrausches ein?

3.4 Hypothesen

Betreffend den Tiefenrausch wurden die folgenden Hypothesen aufgestellt:

H1: Es wird angenommen, dass weniger als 40% der befragten Taucher*innen sich persönlich schon einmal in einem Tiefenrausch befunden haben. Bei den befragten Taucher*innen trat der Tiefenrausch durchschnittlich bei Tiefen unterhalb von 30 *m* auf.

H2: Höher brevetierte und somit qualifiziertere Taucher*innen sind weniger vom Tiefenrausch betroffen.

H3: Die bei den befragten Taucher*innen am häufigsten genannten Gefühle sind Euphorie und Glück sowie Angst. Die von den befragten Taucher*innen am meisten erlebten Symptome sind verminderte Konzentrationsfähigkeit und eingeschränktes Urteilsvermögen.

H4: Die befragten Taucher*innen haben sich während des Tiefenrausches unvernünftig und unsinnig verhalten. Die Beeinflussung ihres Verhaltens während des Tiefenrausches schätzen die befragten Taucher*innen als stark bis sehr stark ein.

H5: Das Auftreten/Vorkommen des Tiefenrausches und die daraus resultierenden potenziellen Gefahren respektive Konsequenzen werden von den befragten Taucher*innen als gering bis gemässigt eingestuft.

4 Methode

4.1 Art der Studie

Um die Hypothesen des Tiefenrausches verifizieren oder falsifizieren und die Fragenstellungen beantworten zu können, wurde eine quantitative Umfrage durchgeführt. Diese wurde online mit Microsoft Forms erstellt und bearbeitet. Publiziert wurde der Link zur Umfrage online in verschiedenen Tauchforen und bei zahlreichen Tauchclubs. Die Umfrage wurde am 13. Juni 2021 gestartet und am 4. September 2021 beendet.

4.2 Aufbau der Befragung

Der Fragebogen enthielt allgemeine Fragen bezüglich des Alters, der Anzahl Tauchgänge und der Jahre an Taucherfahrung, der Brevetierung, der Tauchgewohnheiten, der Häufigkeit des Tauchens, des persönlich tiefsten Tauchganges usw. Zudem wurde die Frage gestellt, ob die Person persönlich schon einen Tiefenrausch erlebt hat. Nur Personen, welche schon einmal einen solchen erlebt haben, wurden zu ihren Erfahrungen befragt. Ebenfalls wurden allgemeine Fragen gestellt, welche sich auf die allgemeine Einschätzung des Vorkommens, der Gefährlichkeit und der Risiken des Tiefenrausches sowie dem grundsätzlichen Wissen über den wissenschaftlichen Hintergrund und mögliche Folgen der Thematik beziehen. Die vollständige Umfrage ist im Anhang unter 9.3 zu finden.

4.3 Hintergrund zum Aufbau der Befragung

Die Umfrage wurde anonym geführt, um ehrliche Resultate und eine geringe Absprungrate zu erzielen und um den Persönlichkeitsschutz zu wahren. Zudem ist der Name irrelevant und eine persönliche Rücksprache ist nicht notwendig. Es wurden bewusst verschiedene Fragentypen gewählt, um bestmögliche Antworten zu erhalten. Offene Fragen wurden für allgemeine Antworten formuliert, geschlossene Fragen, respektive Fragen, bei welchen sich die Antworten sinnvoll kategorisieren lassen, wurden mit verschiedenen Antwortmöglichkeiten gestellt. Hierbei wurde immer darauf geachtet, eine Möglichkeit in Form eines leeren Feldes für eine Antwort zu geben, welche nicht vorgeschlagen war. Fragen, bei welchen es um eine Einschätzung des Einflusses, des Vorkommens oder des Risikos geht, wurden mit einer Punktzahl von 1-10 beantwortet. Die Skala wurde hier extra gross gewählt, um ein möglichst

differenziertes Bild zu erhalten. Die Tendenz zur Mitte sollte verhindert werden (gerade Anzahl Antwortmöglichkeiten).

4.4 Probanden

Es handelt sich um Erwachsene (n=221; 40 Frauen und 181 Männer) mit mindestens 1 abgeschlossenen Tauchausbildung. Das Durchschnittsalter der Taucherinnen betrug 44 (+/- 11,7) Jahre, das der Taucher 48 (+/- 12,2) Jahre. Tabelle 3, Abbildung 1 und Abbildung 2 beschreiben die grundlegenden, tauchspezifischen Daten der Proband*innen.

		Jahre	Jahre Taucherfahrung
Frauen	Mittelwert	44	15
	Standardabweichung	11,70	11,27
Männer	Mittelwert	48	19
	Standardabweichung	12,14	11,71

Tabelle 3: Durchschnittliches Alter und Taucherfahrung der Proband*innen (n=221)

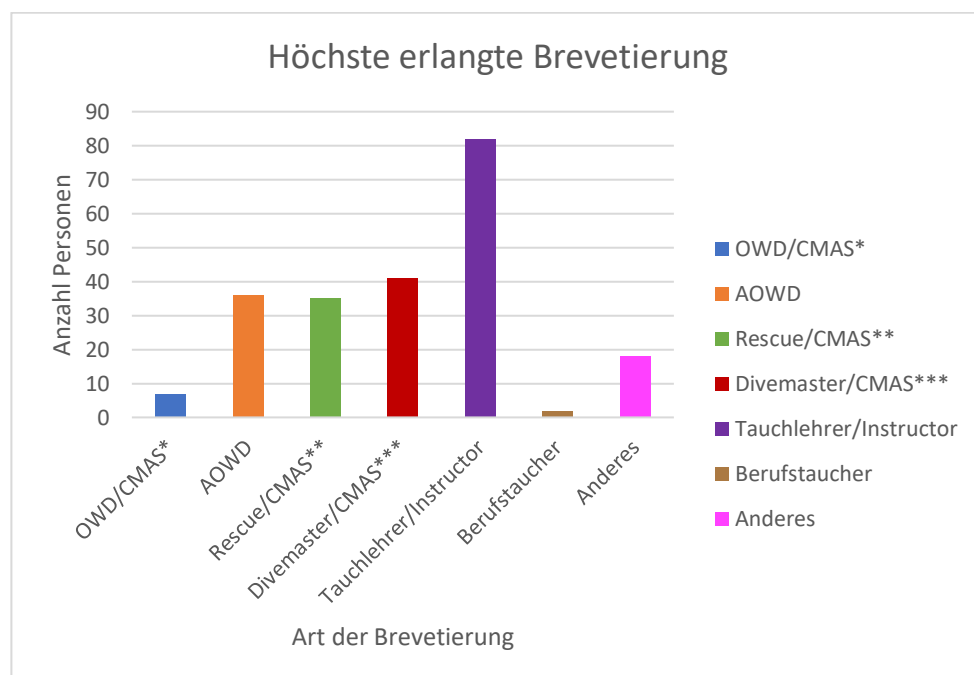


Abbildung 1: Höchste erlangte Brevetierung der Proband*innen (n=221)

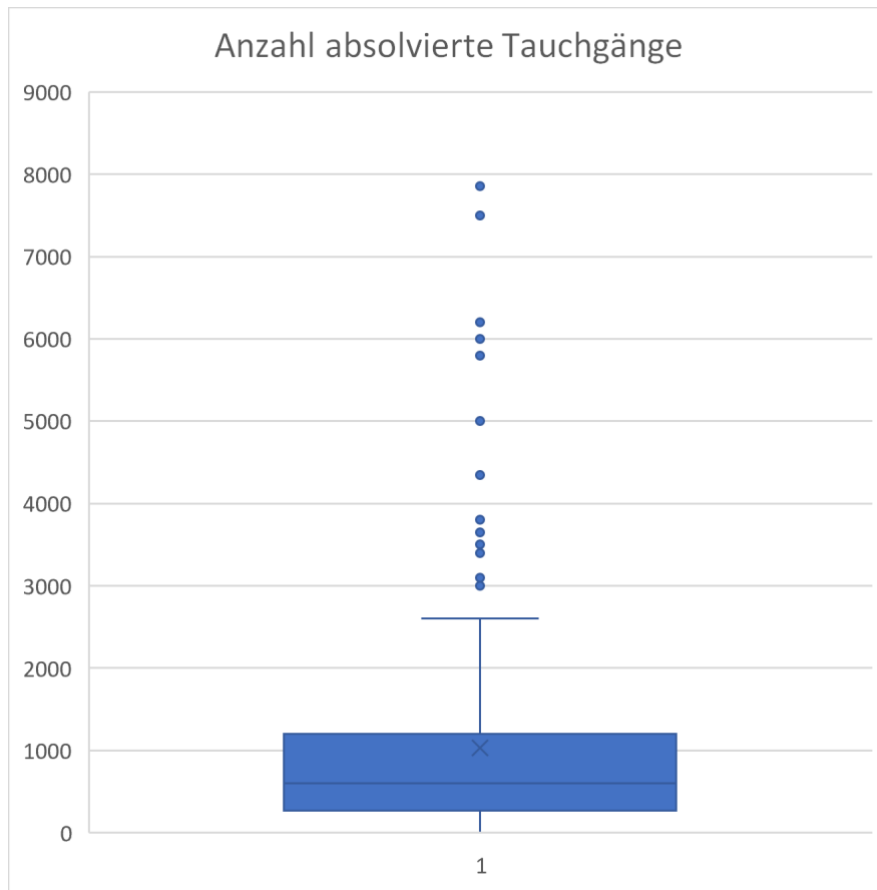


Abbildung 2: Anzahl absolvierte Tauchgänge der Proband*innen (n=221)

4.5 Ergänzende Informationsgewinnung durch Fachpersonen

Ergänzend zu den statistischen Werten wurde eine qualitative Umfrage gestartet, bei welcher 4 Fachpersonen (Frau F. D, Herr M. M, Herr A. D, anonym) zu gewissen Resultaten befragt wurden. Zentral war dabei hauptsächlich die Einschätzung gewisser Zusammenhänge, welche die Experten aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung als Tauchlehrer schon erlebt haben.

4.6 Auswertungsstrategie

Die Resultate der Umfrage wurden mit Excel analysiert und ausgewertet. Dabei waren Aspekte und Daten, welche für die Beantwortung der Fragestellungen und Bearbeitung der Hypothesen notwendig sind, zentral. Mit Hilfe von Boxplots, Balkendiagrammen, Kreisdiagrammen und statistischen Berechnungen sollen Aussagen über die erlangten Werte gemacht werden.

5 Ergebnisse

5.1 Quantitative Umfrage

Die quantitative Umfrage hat zu den folgenden Ergebnissen geführt:

Von den 221 Proband*innen haben 124 schon ein oder mehrere Male persönlich einen Tiefenrausch erlebt. Das entspricht 56% der befragten Personen (Abbildung 3). Hierbei gaben 20 von 40, also 50% der Probandinnen und 104 von 181, also 57% der Probanden an, schon von der Stickstoffnarkose betroffen gewesen zu sein. Von den 124 Betroffenen waren 16,1% weiblich und 83,9% männlich, jedoch muss bei dieser Aussage beachtet werden, dass nicht gleich viele Männer und Frauen die Umfrage beantwortet haben.

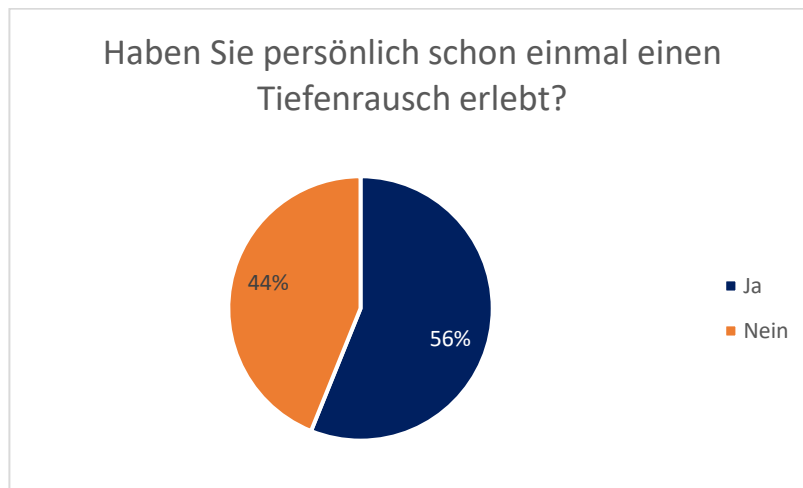


Abbildung 3: Haben Sie persönlich schon einmal einen Tiefenrausch erlebt? (n=221)

Der Tiefenrausch der Betroffenen trat durchschnittlich in einer Tiefe von 41,6 (+/- 12,4) m auf. Der Minimalwert für diese Datenreihe beträgt 8,0 m, der Maximalwert beträgt 84 m. Der Median liegt bei 40 m, das untere Quartil bei 35 m und das obere Quartil bei 45 m (Abbildung 4). Der Interquartilsabstand beträgt 10 m; somit haben 50% der betroffenen Taucher*innen den Tiefenrausch zwischen 35 m und 45 m verspürt. Sowohl in grösseren als auch geringeren Tiefen gibt es Ausreisser.

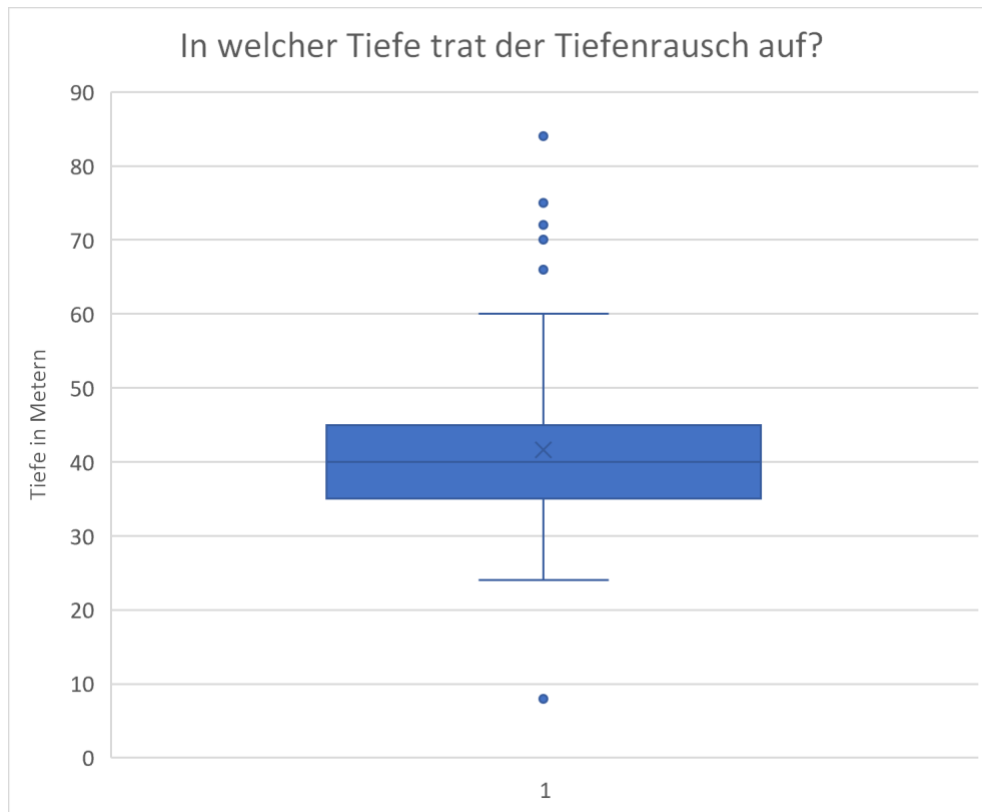


Abbildung 4: In welcher Tiefe trat der Tiefenrausch auf? (n=124)

Die Umfrage hat ergeben, dass mit 76% ein Grossteil der Teilnehmenden vornehmlich in kälteren Gewässern taucht (Abbildung 5). 167 Personen tauchen mehrheitlich in gleichen oder ähnlichen Gegebenheiten wie wir sie in der Schweiz vorfinden: Kalte Wassertemperaturen, gemässigte Sicht unter Wasser, gemässiger Lichteinfall, wodurch schon in Tiefen von 30 m Dunkelheit herrscht etc. 19% der Befragten tauchen mehrheitlich in tropischen Gewässern wie dem Indischen Ozean, wo meist warme Wassertemperaturen und gute Sicht- und Lichtverhältnisse herrschen. Die Personen, welche hauptsächlich in solchen Gewässern tauchen, tun dies häufig (nur) in den Ferien.

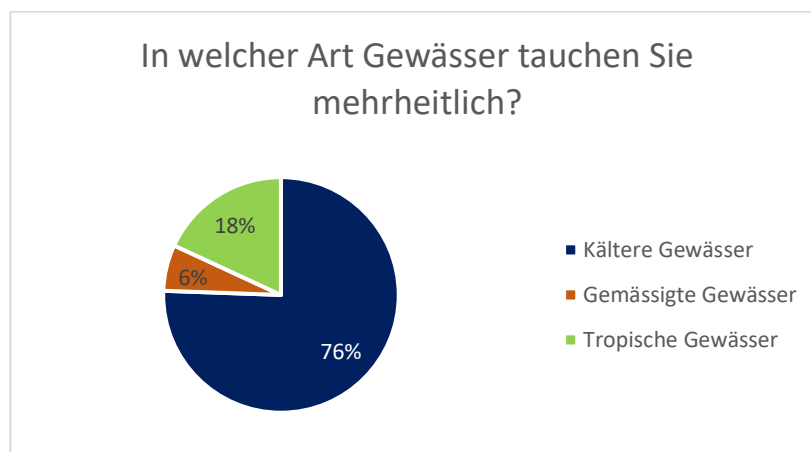


Abbildung 5: In welcher Art Gewässer tauchen Sie mehrheitlich? (n=221)

Die Mehrheit der Proband*innen taucht sehr regelmässig. 110 der Befragten tauchen wöchentlich, weitere 53 Personen tauchen mindestens monatlich und zusätzliche 42 Personen tauchen 2-4 Mal pro Jahr. Nur ein kleiner Teil der Probandengruppe taucht selten bis sehr selten; 9 Personen tauchen 1 Mal jährlich, 5 Personen tauchen 1 Mal alle 2 Jahre und 2 Personen tauchen noch weniger häufig (Abbildung 6). 66% der Befragten, welche wöchentlich oder monatlich tauchen haben schon Erfahrungen mit dem Tiefenrausch gemacht. Bei den Tauchern welche 2-4 Mal pro Jahr oder weniger tauchen, sind es 28%.

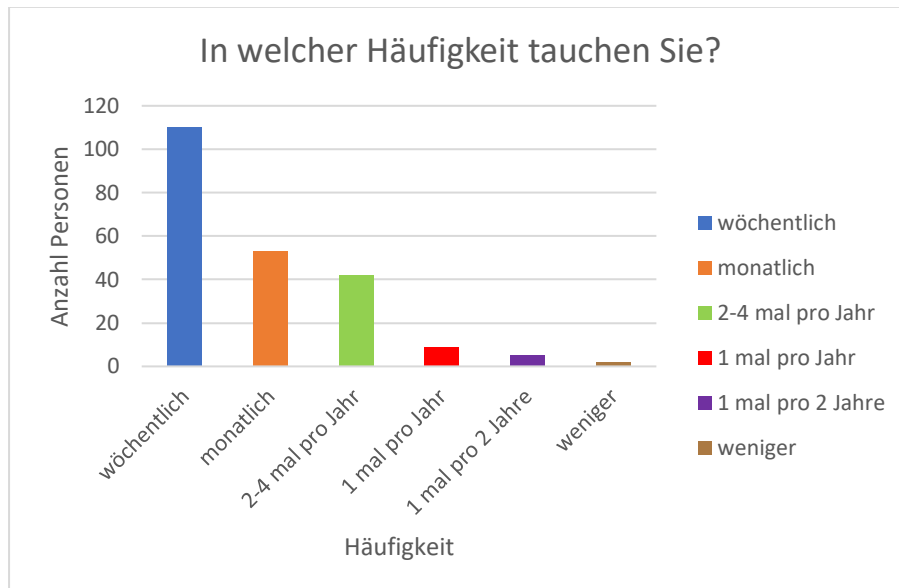


Abbildung 6: In welcher Häufigkeit tauchen Sie? (n=221)

Wie Tabelle 4 zeigt, nahmen Taucher*innen mit vielen verschiedenen Brevetierungen an dieser Umfrage teil. Im Zusammenhang mit dem Erleben des Tiefenrausches lassen sich deutliche Unterschiede im Vorkommen des Tiefenrausches feststellen.

	Anzahl Teilnehmer mit jeweiliger Brevetierung	Anzahl Teilnehmer, bei welchen schon einmal Tiefenrausch auftrat	Prozentual
OWD/CMAS*	7	1	14%
AOWD	36	8	22%
Rescue/CMAS**	35	15	43%
Divemaster/CMAS***	41	22	54%
Tauchlehrer/Instructor	82	67	82%
Berufstaucher	2	2	100%
Anderes	18	8	44%

Tabelle 4: Auftreten des Tiefenrausches bei jeweiligen Brevetierungen (n=221)

Es lässt sich erkennen, dass bei der tiefsten Brevetierung, dem OWD/CMAS*, nur bei 14% der Befragten schon einmal ein Tiefenrausch aufgetreten ist. Bei Personen mit einem AOWD ist dieser Wert mit 22% schon etwas höher. Die Anzahl Personen, welche prozentual schon eine Stickstoffnarkose erlebt haben, steigt weiter mit steigenden Brevetierungen. 43 % der Teilnehmer*innen mit einer Rescue/CMAS** und 54% der Teilnehmer*innen mit einer Divemaster/CMAS*** Brevetierung gaben an, schon einmal von der Stickstoffnarkose betroffen gewesen zu sein. Bei den Berufstauchern waren 100% schon davon betroffen, bei den Befragten mit anderen Brevetierungen (z.B. Full Trimix, Full Cave) waren es 44%.

Die Häufigkeit von Tauchgängen tiefer als 30 m variiert: 14 Personen tauchen immer tiefer als 30 m, das entspricht 6% der Befragten. 100 Proband*innen gaben an, sehr oft bis oft tiefer als 30 m zu tauchen, das ist eine Mehrheit mit 45%. 33% der befragten Personen tauchen manchmal tiefer, das entspricht 72 Taucher*innen. 28 Proband*innen und somit 13% tauchen selten tiefer als 30 m und 7 der befragten Personen tauchen nie tiefer, das entspricht 3%. (Abbildung 7). 66% der befragten Personen, welche immer oder sehr oft bis oft tiefer als 30 m tauchen, haben schon einmal einen Tiefenrausch verspürt. Bei den Personen, welche manchmal tiefer tauchen sind es 56% der Proband*innen und bei Taucher*innen, welche selten oder nie tiefer als 30 m tauchen, waren 26% schon einmal selber betroffen.

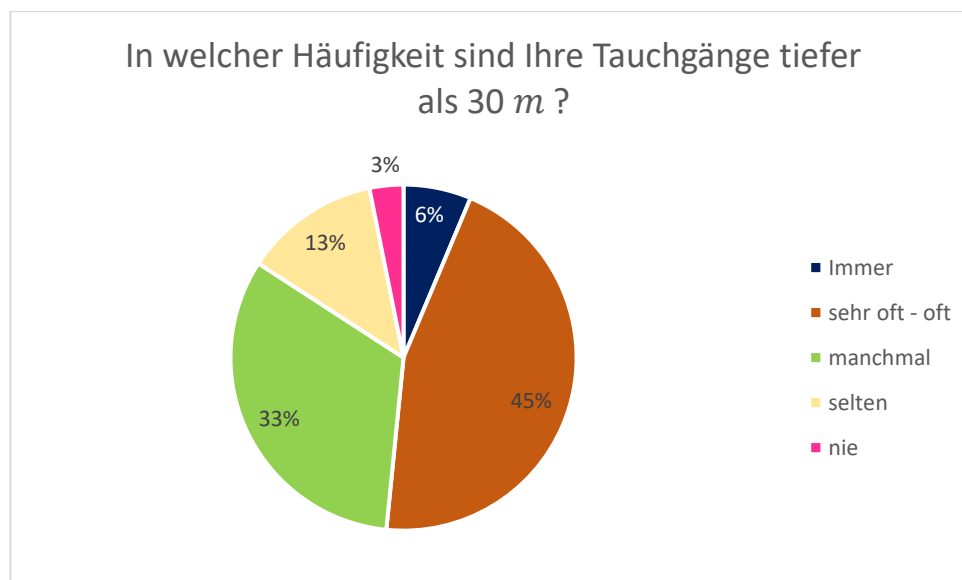


Abbildung 7: In welcher Häufigkeit sind Ihre Tauchgänge tiefer als 30 m? (n=221)

Von den 124 Taucher*innen, welche schon eine Stickstoffnarkose erlebt haben, haben alle eine Angabe zu einem oder mehreren verspürten Gefühlen während des Tiefenrausches gemacht. Hierbei wird ein Gefühl definiert als subjektiven Teil der Emotion, also als die Komponente, welche das Erleben/die Wahrnehmung einer Emotion beschreibt. Zusammen mit der Verhaltenskomponente und der körperlichen Komponente entsteht dann die Emotion. Ein Gefühl ist dabei nicht das gleiche wie ein Symptom, obwohl gewisse Gefühle in übermässiger/übertriebener Ausprägung ein Symptom des Tiefenrausches sein können. Es wird hier in Gefühle mit negativen Assoziationen und in Gefühle mit positiven Assoziationen unterschieden. Euphorie, Freude und Glück sowie Unbeschwertheit werden als positive Gefühle eingestuft. Angst, Panik und Benommenheit werden als negative Gefühle eingestuft. Das Verspüren von positiven Gefühlen wurde 108 Mal angegeben, dabei wurde Euphorie 29 Mal, Freude 14 Mal, Glück 22 Mal und am häufigsten Unbeschwertheit mit 40 Mal genannt. Negativ assoziierte Gefühle wurden 75 Mal genannt, hier wurde Angst 23 Mal und Panik 6 Mal genannt. Das Gefühl, welches am häufigsten verspürt wurde, war die Benommenheit mit 46 Mal (Abbildung 8). Zudem wurden 11 Mal andere Gefühle genannt, zum Beispiel Beklommenheit, Unruhe oder ein Gefühl des Respektes.

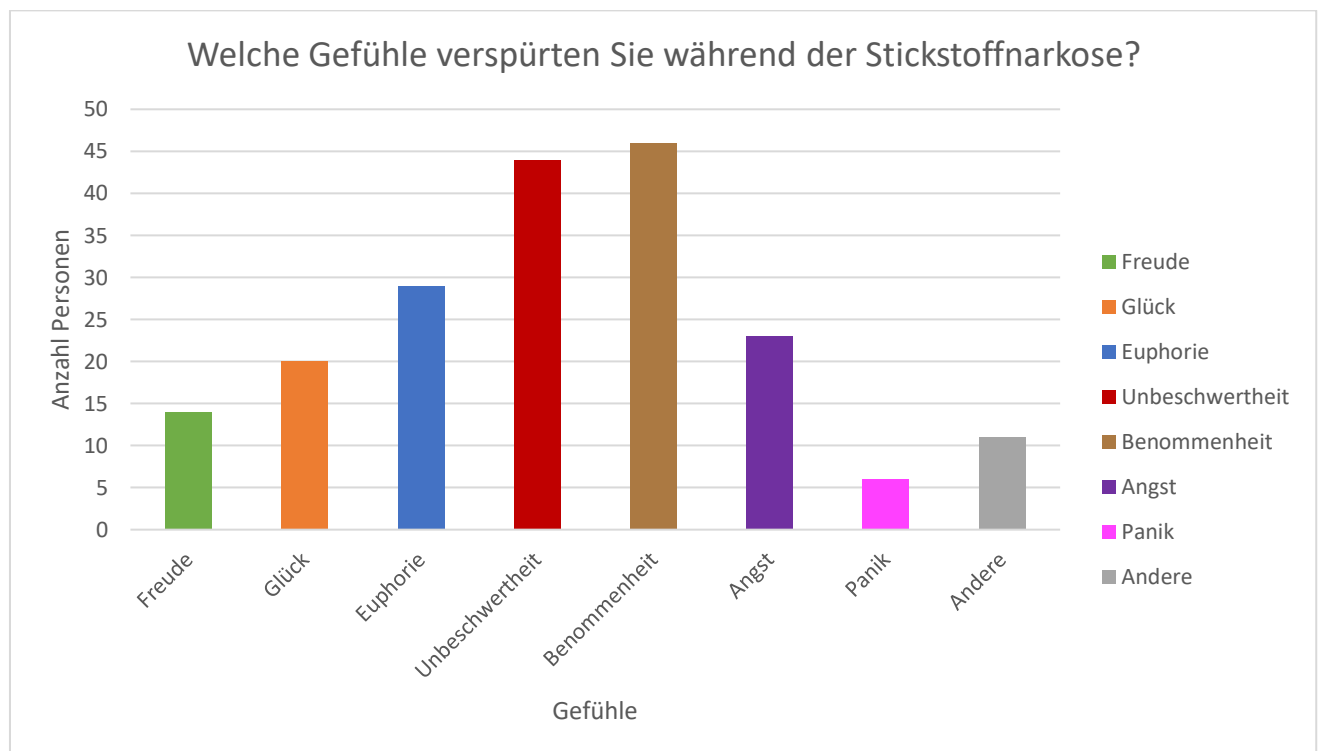


Abbildung 8: Welche Gefühle verspürten Sie während der Stickstoffnarkose? (n=124)

Bei der erlebten Symptomatik haben alle der 124 betroffenen Proband*innen mindestens 1 Symptom verspürt. 31% (38 von 124) haben ein einzelnes Symptom gezeigt, bei den restlichen 69% waren es 2 oder mehr Symptome, welche aufgetreten sind. Auffällig ist, dass

42% der Personen (16 von 38), welche nur ein einzelnes Symptom zeigten, von der verminderten Konzentrationsfähigkeit betroffen waren.

Einige Symptome traten sehr häufig auf, andere eher seltener. Das meistgenannte Symptom war eine verminderte Konzentrationsfähigkeit, welche von 75 Proband*innen genannt wurde. Darauf folgen ein eingeschränktes Urteilsvermögen mit einem Vorkommen bei 55 Taucher*innen und ein verminderter Orientierungssinn, welcher bei 37 Proband*innen aufgetreten ist. 30 Personen gaben an, einen metallischen Geschmack im Mund zu spüren, und bei 17 Taucher*innen ist eine Euphorie aufgetreten. Eine akustische Sinnestäuschung respektive ein Tinnitus trat bei 9 der befragten Taucher*innen auf. Halluzinationen wurden von 9 der Proband*innen genannt. Bei 3 der befragten Personen kam es zu falschem Farbsehen und bei 1 Proband*in kam es zur Bewusstlosigkeit. Zusätzlich wurden von 30 Proband*innen weitere Symptome unter «Andere» genannt, unter anderem Schwindel, ein eingeschränktes Blickfeld und Tunnelblick, ein seltsames Wohlbefinden, Unwohlsein, erhöhte Atemfrequenz und erhöhter Puls, verlangsamte Wahrnehmung, ein heisses Gefühl an der Wange, Kribbeln in den Gelenken, ein Wärmegefühl und Müdigkeit. Viele dieser genannten Symptome wurden nur 1 Mal erwähnt, jedoch gaben 13 Proband*innen an, von einem eingeschränkten Sichtfeld/Tunnelblick betroffen gewesen zu sein. 4 Proband*innen verspürten ein Wärmegefühl und 3 Proband*innen waren von Schwindel betroffen (Abbildung 9).

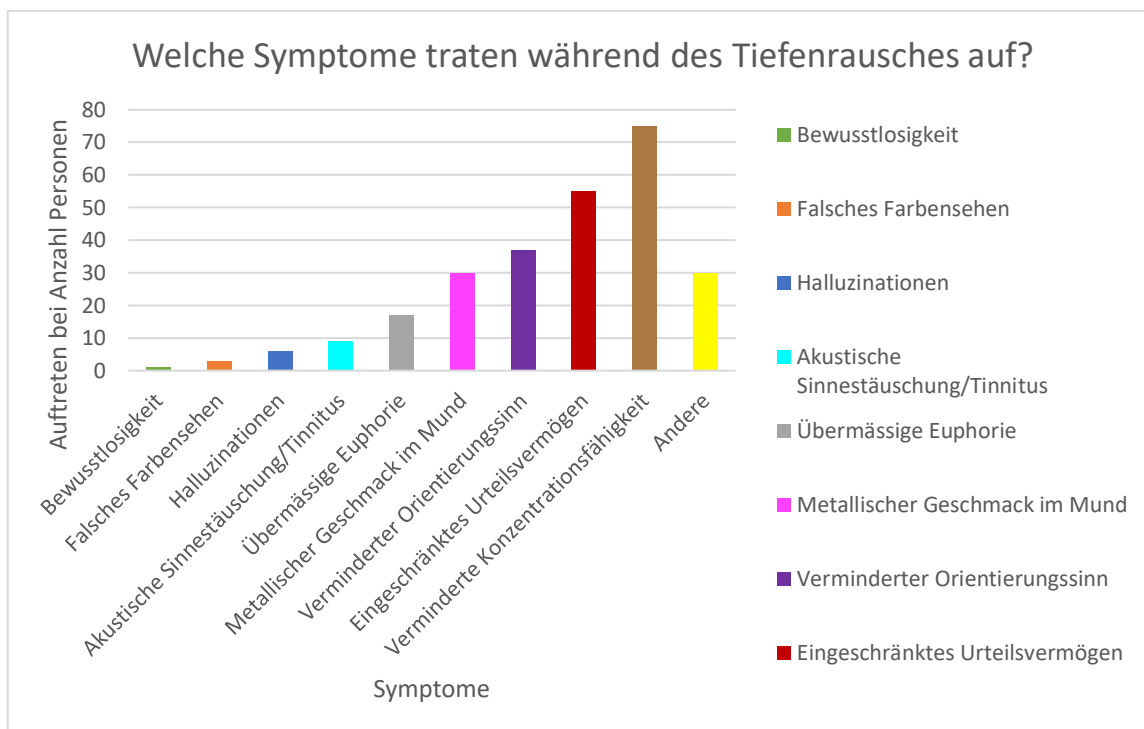


Abbildung 9: Welche Symptome traten während des Tiefenrausches auf? (n=124)

Einen Zusammenhang zwischen den verspürten Gefühlen und den aufgetretenen Symptomen ist kaum bis gar nicht feststellbar. Es gibt weder eindeutige Muster noch grundlegende Möglichkeiten der Eliminierung bestimmter Zusammenhänge. Daraus lässt sich schliessen, dass zwischen den Symptomen des Tiefenrausches und den subjektiv damit verbundenen Gefühlen keine Korrelation besteht.

Die Proband*innen haben sich während des Tiefenrausches nach ihren Angaben sehr unterschiedlich verhalten. Grob lässt sich dieses Verhalten in 5 Gruppen unterteilen, jedoch verhielten sich viele auf mehr als nur eine Art. 62 der betroffenen Taucher*innen gaben an, sich normal oder ruhig verhalten zu haben und versuchten, die Selbstkontrolle, Konzentration und Vernunft zu wahren. Sie versuchten, die Symptome weiter zu beobachten und sich extra fest zu konzentrieren. Ein anderes Verhalten, welches 30 Mal genannt wurde, ist, dem Tauchpartner den Tiefenrausch zu signalisieren. Darauf folgte dann ein Aufstieg (selbstständiger Entscheid oder mit Buddy gemeinsam beschlossen), was von 55 Personen genannt wurde. 13 der betroffenen Taucher*innen erklärten, sie hätten sich unruhig, unkonzentriert, zu passiv und vergesslich verhalten, während 8 Proband*innen angaben, sich unvernünftig, gleichgültig oder fahrlässig verhalten zu haben. Dazu zählen zum Beispiel Handlungsweisen wie sich von der Gruppe entfernen, sich im Kreis drehen und lachen, ungewollt weiter hinabsinken, gewollt weiter abtauchen, den Atemregler aus dem Mund nehmen und das auch noch lustig finden, nicht mehr auftauchen wollen oder die vermeintlichen Glitzerpartikel bestaunen wollen.

Die betroffenen Taucher*innen schätzen die Beeinflussung ihres Verhaltens durch den Tiefenrausch verschieden ein. Auf einer ganzzahligen Skala von 1=gar nicht bis 10=vollkommen liegt der Mittelwert bei 5,27 (+/- 2,38). Die Angaben sind dabei aber relativ breit gestreut (Abbildung 10).

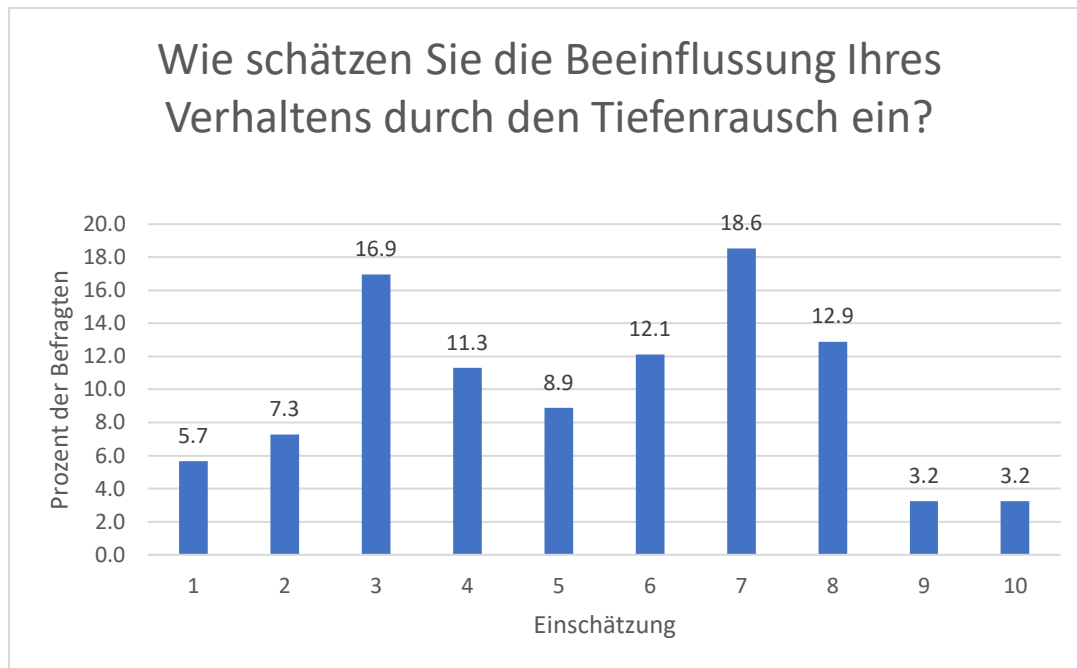


Abbildung 10: Einschätzung: Wie schätzen Sie die Beeinflussung Ihres Verhaltens durch den Tiefenrausch ein?
Skala von 1=gar nicht bis 10= vollkommen (n=124)

19,3% der Proband*innen haben die Beeinflussung mit 8-10 eingestuft, 39,6% mit 5-7, 35,4% mit 2-4 und 5,7% der Proband*innen haben die Beeinflussung ihres Verhaltens mit 1, also gar nicht, eingeschätzt.

2 der Proband*innen behoben die Problematik des Tiefenrausches durch einen Gaswechsel (von Pressluft auf Trimix) und 3 Proband*innen behoben den Tiefenrausch erst gar nicht, da sie es nicht als störend oder für notwendig empfanden. Bei 4 der betroffenen Taucher*innen behob sich die Situation des Tiefenrausches von selber. Bei einem Grossteil der Proband*innen (113 von 124 Proband*innen) wurde die Situation respektive Symptomatik des Tiefenrausches durch das Auftauchen in geringere Tiefen und/oder ein flacheres Tauchprofil behoben.

Alle befragten Taucher*innen wurden gebeten, allgemeine Einschätzungen betreffend das Vorkommen des Tiefenrausches unter 25 m, die potenziellen Gefahren und die Häufigkeit von Unfällen durch den Tiefenrausch zu machen. Auf einer ganzzahligen Skala von 1=nie bis 10=immer gaben Taucher*innen ihre Einschätzung dazu ab, wie häufig ein Tiefenrausch bei einem Tauchgang tiefer als 25 m auftritt (Abbildung 11). Der Mittelwert liegt bei 3,65 (+/- 2,26) mit einer Varianz von 5,12 und einem Standardfehler von 1,82.

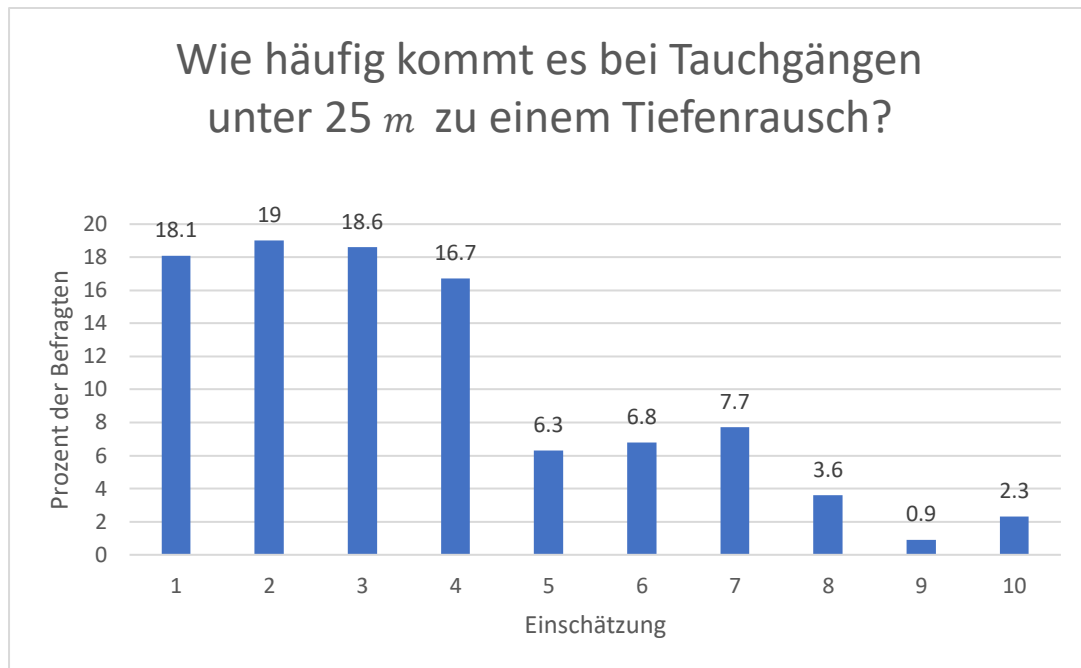


Abbildung 11: Einschätzung: Wie häufig kommt es bei einem Tauchgang unter 25 m zu einem Tiefenrausch?
Skala von 1=nie bis 10=immer (n=221)

55,7% der Proband*innen schätzten die Abundanz eines Tiefenrausches bei einem Tauchgang unter 25 m als gering (1-3) ein. Weitere 29,8% der Befragten schätzten die Abundanz als mittelmässig (4-6) ein, wobei von diesen 29,8% jedoch 56,1% (37 von 66 Personen) den Wert 4 nannten. Die restlichen 14,5% der Proband*innen schätzte das Vorkommen als hoch (7-10) ein.

Die Proband*innen gaben auf einer ganzzahligen Skala von 1=völlig harmlos bis 10=lebensgefährlich ihre Einschätzung dazu ab, wie gefährlich ein Tiefenrausch sein kann (Abbildung 12). Hier liegt der Mittelwert bei 7,79 (+/- 2,04) mit einer Varianz von 4,15 und einem Standardfehler von 1,64.

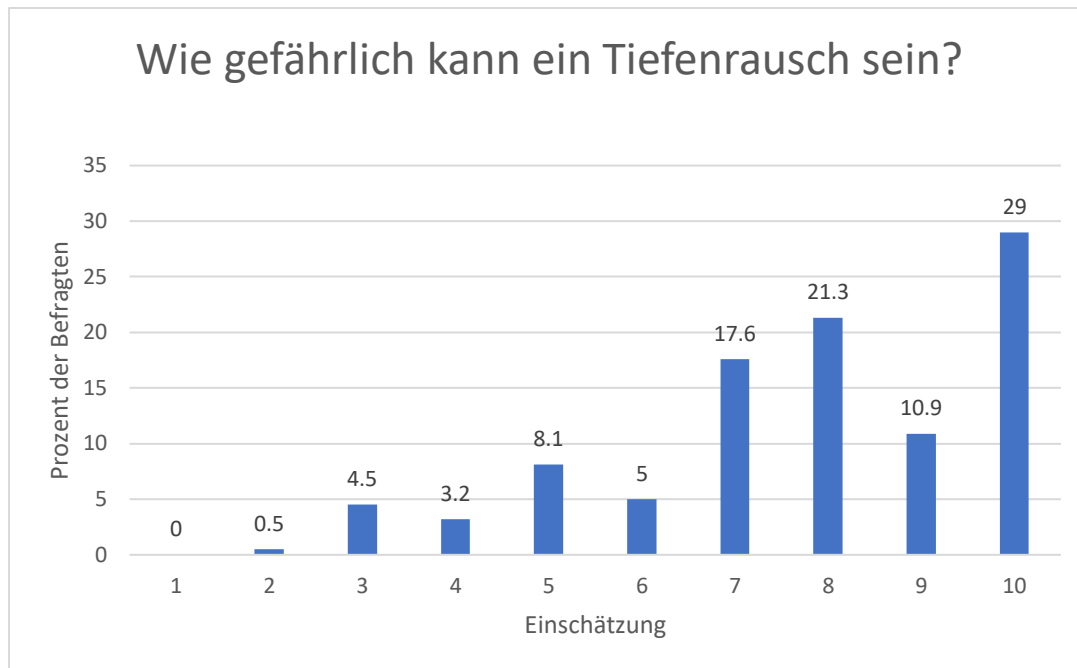


Abbildung 12: Einschätzung: Wie gefährlich kann ein Tiefenrausch sein? Skala von 1=völlig harmlos bis 10=lebensgefährlich (n=221)

Keine Person schätzte die Gefährlichkeit eines Tiefenrausches als völlig harmlos (1) ein. 8,2% der Proband*innen gaben hingegen Werte von 2-4 an. Angaben von 5-7 wurden von 30,7% der Befragten gemacht. Bemerkenswert ist, dass von diesen 30,7% der Befragten 57,4% (39 von 68 Personen) den Wert 7 genannt haben. Einschätzungen von 8-10 wurden von 61,1% der Taucher*innen gemacht. Hier war die Aufteilung folgendermassen: 34,8% (47 von 135 Personen) haben den Wert 8 genannt, eine Minderheit von 17,8% (24 von 135 Personen) den Wert 9 und die Einschätzung 10 wurde von 47,4% (64 von 135 Personen) der Befragten dieser Untergruppe gegeben. Insgesamt wurde die Einschätzung 10=lebensgefährlich mit 64 der 221 befragten Personen prozentual häufigsten gemacht (29,0% aller Befragten).

Ebenfalls gaben die Proband*innen ihre Einschätzung auf einer ganzzahligen Skala von 1=nie bis 10=sehr oft dazu ab, wie häufig es aufgrund von Tiefenräuschen zu Tauchunfällen kommt (Abbildung 13). Der Mittelwert dazu liegt bei 5,52 (+/- 2,24) mit einer Varianz von 5,01 und einem Standardfehler von 1,90.

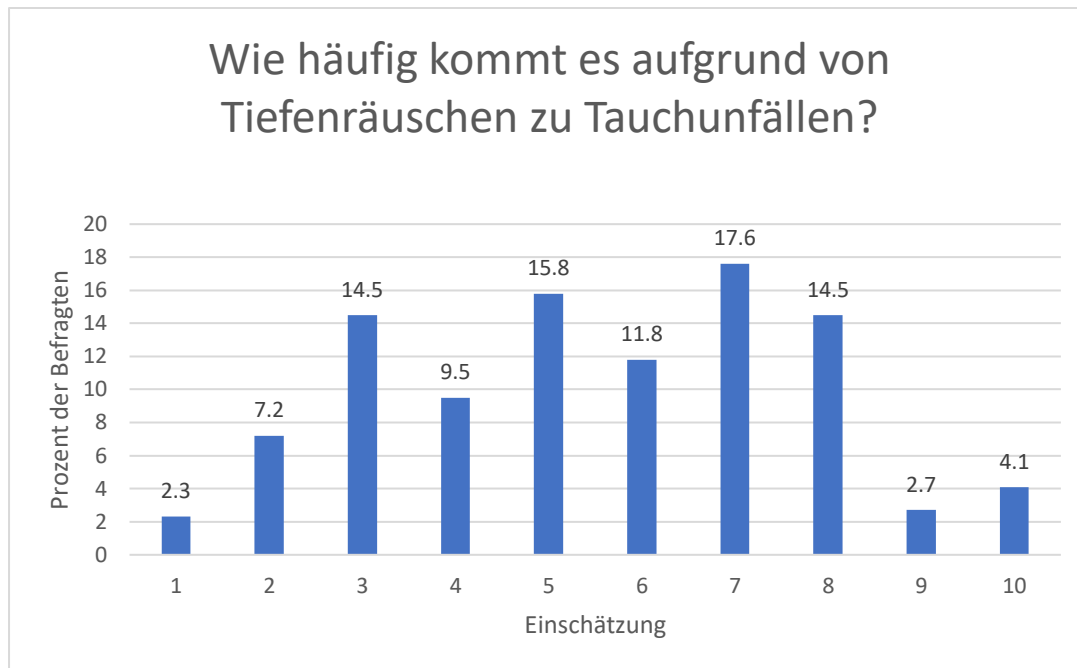


Abbildung 13: Einschätzung: Wie oft kommt es aufgrund von Tiefenräuschen zu Tauchunfällen? Skala von 1=nie bis 10=sehr oft (n=221)

24,0% schätzten die Abundanz von Tauchunfällen aufgrund von Tiefenräuschen von 1-3 ein, hiervon nannten 60,4% (32 von 53 Personen) den Wert 3. Eine Einschätzung von 4-7 gaben 54,7% der Proband*innen ab, die Verteilung ist hier wie folgt: 17,4% (21 von 121 Personen) haben den Wert 4 genannt, 28,9% (35 von 121 Personen) den Wert 5, die Einschätzung 6 wurde von 21,5% (26 von 121 Personen) der Befragten in dieser Untergruppe gegeben und 32,2% (39 von 121 Personen) haben den Wert 7 genannt. Eine Einschätzung der Abundanz von Tauchunfällen aufgrund von Tiefenräuschen von 8-10 wurde von 21,3% aller Proband*innen gemacht, hierbei haben 68,3% dieser 21,3% (32 von 47 Personen) den Wert 8 genannt.

Die Verteilung dieser 3 Einschätzungen kann statistisch weiter analysiert und dargestellt werden (Tabelle 7). Dies ist für die statistische Bearbeitung der Problematik durchaus interessant, jedoch nicht notwendig, um Tendenzen und Muster erkennen zu können.⁸

Die Umfrage hat ergeben, dass sich 84% (185 von 221 Personen) der Proband*innen nach eigenen Angaben genau bewusst sind, was bei einem Tiefenrausch geschieht. 16% (35 von 221 Personen) der befragten Taucher*innen gaben an, es nur teilweise zu wissen, während 1 Person angab, es nicht zu wissen (Abbildung 14).

Zusätzlich dazu sind sich nach eigenen Aussagen auch 87% (193 von 221 Personen) der Proband*innen bewusst, welche Folgen ein Tiefenrausch für sie als Taucher*in haben kann.

⁸ Ausführung statistische Analyse der 3 Einschätzungen im Anhang unter 9.1

12% (26 von 221 Personen) der Befragten sind sich über die Folgen des Tiefenrausches nur teilweise bewusst und 2 Personen erklärten, es nicht zu wissen (Abbildung 15).

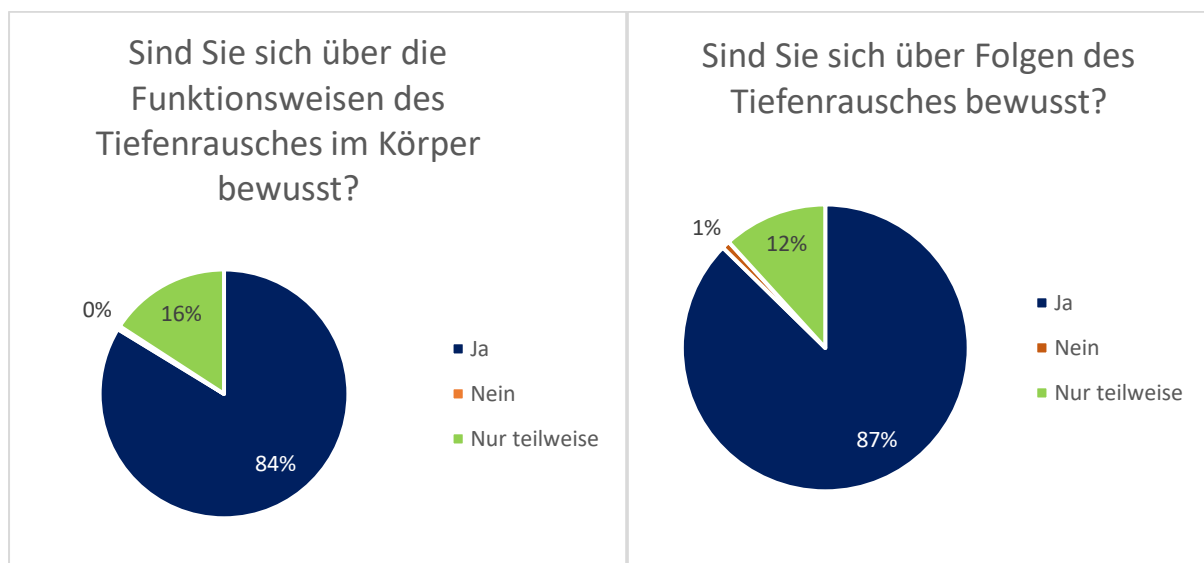


Abbildung 14: Sind Sie sich über die Funktionsweisen des Tiefenrausches im Körper bewusst? (n=221)

Abbildung 15: Sind Sie sich über Folgen des Tiefenrausches bewusst? (n=221)

5.2 Qualitative Umfrage

Um eine grösstmögliche Tiefgründigkeit an Informationen zu erlangen, wurden neben den statistischen Daten auch Fragen an Fachpersonen versendet. Diese konnten aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung und Expertise zusätzliche Informationen und Einblicke liefern. Die vollständigen Antworten sowie eine gekürzte Version der Antworten sind im Anhang unter 9.1 und 9.3 zu finden.⁹

- Miterleben des Tiefenrausches bei Tauchschüler*innen und Tauchclubmitgliedern
- Bedeutung von Erfahrung und Brevetierung in Bezug auf den Tiefenrausch
- Potenzielle Gefahren des Tiefenrausches und die daraus resultierenden Folgen
- Verharmlosung/Unterschätzung des Tiefenrausches in der Tauchszene

⁹ Ausführung zu gekürzter Version und Originalversion der qualitativen Umfrage im Anhang unter 9.1 und 9.3

Die zentralen Punkte und Erkenntnisse der Experten waren (Tabelle 5):

Aspekte	Antworten
Miterleben bei Tauchschüler*innen und Tauchclubmitgliedern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tauchschüler*innen verspüren eher selten einen Tiefenrausch, diese tauchen meist nur bis 18 m ▪ Bei fortgeschritteneren Taucher*innen häufiger, da tiefere Tauchgänge <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei Clubmitgliedern relativ häufig, insbesondere bei mangelnder Erfahrung mit tiefen Tauchgängen und Kaltwassererfahrung
Bedeutung von Erfahrung und Brevetierung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ In Theorie und für Versicherungen ist die Brevetierung relevant <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfahrung und Tagesform sind die entscheidenden Faktoren ▪ Überschätzung resultiert unabhängig von der Brevetierung oft zu einem Tiefenrausch
Potenzielle Gefahren und resultierende Folgen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwerwiegende und/oder fatale Folgen möglich ▪ Unüberlegte Handlungen während des Tiefenrausches ist oftmals das fatale Verhalten
Verharmlosung/Unterschätzung in der Tauchszene	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiefenrausch wird in der Szene der Sporttaucher*innen und Tauchschüler*innen unterschätzt ▪ Ferientaucher*innen erkennen Anzeichen oftmals nicht <ul style="list-style-type: none"> ▪ Im technischen Bereich wird durch Gaswechsel etc. die Thematik wenig verharmlost

Tabelle 5: Antworten von Experten in Bezug auf verschiedene Aspekte der Problematik

6 Interpretation und Fazit

6.1 Interpretation

In dieser Studie wurde eine Vielzahl an Erkenntnissen rund um das Phänomen des Tiefenrausches erlangt und ausgewertet. Diese sollen nun evaluiert werden.

Mit 56% hat mehr als die Hälfte aller Proband*innen schon einmal selber einen Tiefenrausch erlebt. Das scheint auf den ersten Blick relativ hoch, allerdings muss man diesen Wert auch in Relation zur Anzahl absolvierter Tauchgänge setzen. Die Probandengruppe bestand aus Taucher*innen, welche häufig schon eine grosse Anzahl Tauchgänge absolviert haben und viele Jahre Taucherfahrung haben und sehr regelmässig tauchen. Dazu kommt, dass viele der Befragten hoch brevetiert sind, kurz, es handelt sich dabei oft um Profis oder Personen, welche es aufgrund langjähriger Präsenz im Sport sein könnten. Die hohe Anzahl an Tauchgängen ist insofern auch eine grössere Anzahl an Möglichkeiten, schon einmal einen Tiefenrausch erlebt zu haben. Dies bedeutet aber nicht, dass viele absolvierte Tauchgänge das Risiko erhöhen, lediglich die statistischen Möglichkeiten erhöhen sich. Denn gerade Un- erfahrenheit und Stress wirken verstärkend und erhöhen somit das Risiko eines Tiefenrausches. Ab einer Brevetierung des Typen AOWD steht es Personen zu, in Tiefen zu tauchen, in welchen der Tiefenrausch oftmals zu einem Faktor wird. Denn dieser tritt bei den Proband*innen durchschnittlich in 41,6 (+/- 12,4) m Tiefe auf. Ebenfalls erlebten 50% aller betroffenen Proband*innen diesen zwischen 35 m und 45 m auf, woraus sich schliessen lässt, dass in dieser 10 Meter-Zone das Risiko eines Tiefenrausches durchaus berechtigt ist. Die Effekte des Stickstoffs nehmen mit zunehmender Tiefe nicht ab, jedoch wird in grösseren Tiefen, insbesondere ab 50 m, mit einem stickstoffärmeren Gas getaucht und dessen Partialdruck somit gesenkt. Darum ist es sinnvoll, weniger Vorfälle des Tiefenrausches zu haben. Grundsätzlich bleibt das Risiko in grösseren Tiefen bestehen, jedoch wird hier durch den Gaswechsel aktiv etwas unternommen, um das Risiko zu minimieren. Ein anderer Faktor für die hohe Anzahl an Tauchern mit Erfahrungen eines Tiefenrausches ist die Tatsache, dass ein Grossteil (76%) der Proband*innen mehrheitlich in Gewässern wie den Schweizer Seen tauchen. Kälte und mangelnde Sicht/Dunkelheit wie wir sie in unseren Gewässern vorfinden, können verstärkend wirken.

Ob man eine Toleranz für Stickstoff unter hohem Druck entwickeln kann, lässt sich nicht eindeutig sagen. Da 66% der Proband*innen, welche immer bis oft unter 30 m tauchen, schon Erfahrungen mit dem Tiefenrausch gemacht haben, scheint dies nicht der Fall zu sein. Jedoch setzen sich diese Personen auch viel öfter der Wahrscheinlichkeit des Tiefenrausches aus als jemand, der nur ganz selten so tief taucht.

Der erste Teil der Hypothese H1 wurde klar falsifiziert. Es kam nicht bei weniger als 40% der Proband*innen schon einmal zu einem Tiefenrausch, sondern sogar bei 56% aller befragten Personen. Der zweite Teil von H1 konnte verifiziert werden. Der Tiefenrausch trat durchschnittlich bei mehr als 30 m Tiefe auf. Der Mittelwert lag bei 41,6 m und die Hälfte der Proband*innen waren in Tiefen zwischen 35 und 45 m davon betroffen, was sich mit dem häufig genannten Richtwert von 40 m Wassertiefe deckt.

Die Idee, dass die Brevetierung einen grossen Einfluss auf das Auftreten des Tiefenrausches hat, wurde im Laufe dieser Arbeit wieder verworfen. Es ist definitiv nicht die Brevetierung, welche entscheidend ist, sondern vielmehr die Tiefe, die Erfahrung und die Tagesform. Das bestätigen auch die Experten. Taucher*innen, welche nur bis 18 m tauchen dürfen, sind trotz häufiger Unerfahrenheit selten von einem Tiefenrausch betroffen, da sie sich gar nicht in die kritische Zone um 30 m herum begeben dürfen. Das zeigt auch die Umfrage, welche bestätigt, dass Taucher*innen, welche immer/häufig tiefer als 30 m tauchen, häufiger vom Tiefenrausch betroffen sind, als die, die nie/selten so tief tauchen. Von AOWD bis hoch zum Instructor steigt die Anzahl der Betroffenen stetig. Mit 82% aller Instruktoren ist der Wert der Betroffenen recht hoch. Es kann jedoch angenommen werden, dass dies nicht an mangelnder Erfahrung, sondern an der grossen Erfahrung, welche Taucher*innen auf diesem Level zwingend haben, liegt. Da eine bestimmte Anzahl der Proband*innen, welche «Anderes» als ihre Brevetierung nannten, eine Trimix Ausbildung haben, ist es nachvollziehbar, weshalb dieser Wert verhältnismässig tief ist. Dies geht ebenfalls auf den beim Trimix-Tauchen gesenkten Stickstoffpartialdruck zurück. Ob die Tauch erfahrung selber oder die richtige Verhaltensweise und frühzeitiges Erkennen der Situation bedingt durch die grosse Erfahrung ausschlaggebend ist, kann nicht endgültig bestimmt werden. Laut den Experten ist es aber so, dass das korrekte Handeln bei ersten Anzeichen entscheidend darüber ist, wie sich die Situation weiter entwickelt. Dadurch kann bei entsprechendem Handeln ein Tiefenrausch beendet werden, bevor er sich vollständig entwickelt. Insofern würde dies darauf schliessen, dass eine Besserung der Symptomatik durch das durch Erfahrung angeeignete Handeln realistischer ist, wie die Aneignung einer N_2 -Immunität.

Die Hypothese H2 konnte somit klar falsifiziert werden. Mit einer höheren Brevetierung sind Taucher*innen nicht weniger vom Tiefenrausch betroffen. Die Tauchtiefe und das Tauchverhalten sind entscheidend über die Entwicklung eines Tiefenrausches.

Im Verlauf der Auswertung wurde deutlich, dass die Inertgasnarkose sehr vielseitig ist. Nicht alle Menschen reagieren gleich und auch jeder Einzelne reagiert nicht immer identisch. Wieso die Proband*innen auf die Weise reagierten, wie sie es taten, und nicht anders, ist un-

möglich zu sagen. Die Differenzierung zwischen Gefühlen und Symptomen ist wichtig. Viele Symptome des Tiefenrausches beschreiben einen körperlichen Zustand, nicht dessen subjektive Wahrnehmung. Wie das Gehirn diese körperlichen Symptome aufnimmt, ist entscheidend dafür, welche Gefühle mit dem Tiefenrausch assoziiert werden. Viele Proband*innen verspürten Gefühle mit positiven Assoziationen, wovon Unbeschwertheit das verbreitetste war. Dies sind die Gefühle, welche typischerweise mit dem Tiefenrausch in Verbindung gebracht werden. Aber auch negative Gefühle traten häufig auf, insbesondere Benommenheit, das war das meistgenannte. Angst wurde häufiger genannt als Glück. Der psychische Zustand kann die Auffassung eines körperlichen Symptoms zwar beeinflussen, wieso dann aber dieses eine Gefühl damit assoziiert wird, bleibt unbekannt. Wie die Gefühle der Befragten, traten auch die Symptome des Tiefenrausches sehr vielseitig und in unzähligen Kombinationen auf. Die Symptome treten auf, weil die Signalübertragung im und zum Gehirn gestört wird und nicht vollständig funktionsfähig ist. Allerdings ist es auch hier unklar, weshalb Symptome auf die Art auftreten, wie sie es tun und wieso sie bei einem anderen Tiefenrausch vollkommen anders sein können. Gewisse Symptome scheinen jedoch häufiger zu sein als andere. Dazu gehören eine verminderte Konzentrationsfähigkeit, ein eingeschränktes Urteilsvermögen und ein verminderter Orientierungssinn. Dies sind grundsätzlich «harmlosere» Symptome wie zum Beispiel Bewusstlosigkeit oder Halluzinationen. Auch diese können unter Wasser fatale Folgen haben. Durch das kombinierte Auftreten mehrerer Symptome wird das Risiko schlimmer Konsequenzen erhöht. Wieso diese Symptome häufiger auftreten als andere, kann nur sehr schwer eindeutig und allgemeingültig erklärt werden.

Der erste Teil der Hypothese H3 konnte eindeutig falsifiziert werden. Nicht Euphorie, Glück und Angst sind die verbreitetsten Gefühle während eines Tiefenrausches, sondern Unbeschwertheit und Benommenheit. Der zweite Teil von H3 konnte verifiziert werden. Sowohl verminderte Konzentrationsfähigkeit als auch ein eingeschränktes Urteilsvermögen gehören zu den zwei häufigsten Symptomen des Tiefenrausches.

Das Verhalten der Proband*innen während des Tiefenrausches war sehr unterschiedlich. Typischerweise werden Verhaltensweisen des Tiefenrausches als unkontrolliert und unsinnig beschrieben. Gewisse Proband*innen zeigten auch tatsächlich dieses Verhalten. Man verliert die Kontrolle und der Rausch übernimmt die Kontrolle über das Handeln der betroffenen Person, ähnlich wie bei einem Alkoholrausch. Üblicherweise baut sich ein Tiefenrausch jedoch auf und kommt nicht schlagartig. Es bleibt normalerweise genügend Zeit, den Buddy über die Situation zu informieren und ein paar Meter aufzutauchen. Um dies zu tun, muss man die ersten Anzeichen des Tiefenrausches jedoch erkennen, was nicht immer einfach ist.

Werden diese bemerkt, versuchen viele Taucher*innen, dem Phänomen entgegenzuwirken, indem sie versuchen, die Selbstkontrolle und Konzentration zu wahren. Dieses Verhalten wurde auch in der Studie von der Mehrheit der Taucher*innen gezeigt. Ebenfalls waren viele Taucher*innen in der Lage, ihrem Buddy den Tiefenrausch mitzuteilen. Somit ist auch die hohe Anzahl des Verhaltens der Taucher*innen, flacher zu tauchen oder aufzusteigen, erklärbar. Die Ursachen für den Aufstieg können jedoch verschiedene sein; entweder wird dies mit dem Buddy abgesprochen und durchgeführt, es wird vom Buddy initiiert, wenn dieser den Tiefenrausch bemerkt, oder das Verhalten erfolgt aus einer spontanen Idee (was, ohne den Buddy zu informieren, wiederum unvernünftig ist). In vielen Fällen legt man dieses Verhalten aber bewusst an den Tag. Eine sehr typische Verhaltensweise des Tiefenrausches ist es, sich die Angaben auf seinem Finimeter einfach nicht merken zu können. Dies wäre dann ein Verhalten der Kategorie, sich passiv, unruhig oder vergesslich zu verhalten. Auch solches wurde von einigen Proband*innen gezeigt. Wie man sich während des Tiefenrausches verhält, ist definitiv abhängig davon, ob man Anzeichen frühzeitig erkennt oder nicht. Eine ordentliche Ausbildung und gewisse Erfahrung können dazu beitragen, dass man Anzeichen früh bemerkt. Geringe Symptome sollten durch verstärkte/bewusstere Konzentration in den Griff bekommen werden, bei schwereren Symptomen reicht dies nicht mehr aus. Dann ist, die Tiefe etwas zu verringern, die einzige richtige Lösung.

Es ist interessant, wie unterschiedlich die einzelnen Proband*innen die Beeinflussung ihres Verhaltens während des Tiefenrausches einschätzten. Es gibt die meisten Einschätzungen beim relativ geringen Wert 3 und beim relativ hohen Wert 7, dazwischen ist die Anzahl Einschätzungen jeweils wieder geringer. Personen, welche die Anzeichen des Tiefenrausches erkennen und versuchen, einen kühlen Kopf zu bewahren, werden in ihrem Verhalten vermutlich weniger beeinflusst, als solche, die vollständig in den Rausch verfallen. Daher wäre es naheliegend, dass die Proband*innen, welche sich unvernünftig verhalten, höhere Angaben machen als die, welche dem Phänomen durch erhöhte Konzentration entgegenwirken wollten. Diese Annahmen spiegeln sich in der Statistik jedoch nicht wider, es gab viel mehr Taucher*innen mit vernünftigem und informierendem Verhalten als es tiefe Einschätzungen gibt. Hier muss allerdings beachtet werden, dass die Einschätzung der Beeinflussung des eigenen Verhaltens subjektiv ist. Die Beeinflussung wird innerlich vermutlich völlig anders eingeschätzt als sie äusserlich auf andere wirkt. Ebenfalls nehmen nicht alle Betroffenen die Beeinflussung als gleich wahr. Es ist schwierig, die Einschätzung an bestimmten Kriterien festzumachen, sie beruht lediglich auf der Intuition und der Wahrnehmung der Symptomatik. Die Tatsache, dass vergleichbare Situationen limitiert sind, macht es für die Proband*innen schwerer, eine verbindende Evaluation von verhaltensbeeinflussenden Faktoren unter und über Wasser herzustellen. Deshalb könnten die genannten Einschätzungen über oder unter

dem genannten Wert liegen. Bei einer Selbsteinschätzung fließen die persönliche Wahrnehmung der eigenen Fähigkeiten und eventuelle Selbstüberschätzung/Überheblichkeit mit ein. Solche Faktoren sind statistisch jedoch sehr schwer ermittel- und eliminierbar.

Die Hypothese H4 konnte falsifiziert werden. Obwohl es Proband*innen gab, welche sich unvernünftig verhielten, war das mehrheitliche Verhalten kontrolliert und gar vernünftig. Die Behauptung, dass Proband*innen die Beeinflussung ihres Verhaltens als stark bis sehr stark einschätzten, wurde ebenfalls falsifiziert. Die durchschnittliche Einschätzung liegt im mittleren Bereich.

Die Einschätzungen in Bezug auf die Häufigkeit des Vorkommens eines Tiefenrausches unter 25 m waren sehr tief. Mit 55,6% aller Befragten hat mehr als die Hälfte das Vorkommen als sehr selten bis selten eingestuft. Das liegt daran, dass 25 m verhältnismässig einer zu geringen Tiefe entspricht. Insbesondere Taucher*innen, welche ihren Tiefenrausch in grösseren Tiefen verspürten, werden dazu neigen, das Vorkommen schon bei 25 m als gering einzuordnen. Obwohl es ab dieser Wassertiefe schon zu ersten Anzeichen der Narkose kommen kann, ist der geläufige Richtwert bei 40 m Tiefe. In diesem Vergleich scheinen 25 m zu wenig, wodurch die tiefe Einschätzung erklärt werden kann.

Mit einem Mittelwert von 7,79 wird die Gefährlichkeit respektive die potenziellen Gefahren eines Tiefenrausches als relativ gross eingeschätzt. Eine Mehrheit aller Befragten machten eine Einschätzung von 8 bis 10, woraus man schliessen kann, dass die Befragten sich über mögliche Konsequenzen bewusst sind. Dies kann sowohl durch eigene Erfahrungen als auch durch Erzählungen verursacht sein. Eine solch hohe Einschätzung der Gefährlichkeit deckt sich mit den Meinungen der Experten und der Realität. Essenziell zu verstehen ist hier, dass in den meisten Fällen nicht der Tiefenrausch selber fatale Folgen haben kann, sondern dass daraus resultierende gefährliche Verhalten. Durch Fehler oder Herumalbern kann es zum Ertrinken, Ersticken, Überschreiten der Nullzeitgrenzen, Vernachlässigen der Dekompressionstopps und vielen weiteren tödlichen Szenarien kommen. Solche Ereignisse kann man mit einem funktionierenden Buddy-System und einer bestimmten Aufmerksamkeit vermeiden.

Aus diesen Erkenntnissen ergibt sich auch die Einschätzung, der Häufigkeit von Tauchunfällen aufgrund des Tiefenrausches. Diese wird von 54,7% der Befragten als gemässigt eingestuft. Das scheint sinnvoll, denn obwohl der Tiefenrausch eine bekannte Problematik darstellt, sind längst nicht alle Tauchunfälle darauf zurückzuführen.

In Bezug auf alle 3 Einschätzungen stellt sich dann die Frage, ob es Taucher*innen überhaupt bewusst ist, was bei einem Tiefenrausch physiologisch in ihrem Körper geschieht, und was für Folgen dies haben kann. Gemäss eigener Aussage sind sich 84% der Befragten genau bewusst, was passiert, und 87% über die Folgen bewusst. Der Rest gab an, es nur teilweise zu wissen. Diese Werte sind erstaunlich hoch, wenn man bedenkt, dass der Tiefenrausch in einer Grundtauchausbildung kaum erwähnt wird und auch in weiterführenden Kursen nicht viel Beachtung findet. Abgesehen davon, dass das Phänomen noch nicht vollständig erforscht und erklärbar ist, ist für ein vollständiges Verstehen des Tiefenrausches ein bestimmtes Level an Fachwissen in Biologie, Neurologie, Medizin, Chemie und Physik fundamental. Es ist nicht realistisch, dass dies bei allen Proband*innen der Fall ist, was dafür spricht, dass der «nur teilweise» Anteil grösser sein sollte. Da stimmen auch Experten überein. Denn laut ihren Aussagen ist der Tiefenrausch ein Phänomen, welches insbesondere in der Szene der Sporttaucher definitiv unterschätzt und verharmlost wird. Durch mangelhafte Bildung werden auch Konsequenzen oder richtiges Reaktionsverhalten nicht aufgezeigt, was dann wiederum direkt zu einem erhöhten Risiko eines Unfalles führt.

Die Hypothese H5 kann nicht allgemein verifiziert oder falsifiziert werden. Das Auftreten des Tiefenrausches ab 25 m wird als gering eingestuft, jedoch schätzen die Proband*innen die Gefahren als hoch bis sehr hoch ein. Die potenziellen Konsequenzen mit dem Tiefenrausch als Grund für Tauchunfälle werden als gemässigt eingestuft.

6.2 Fazit

Abschliessend wird deutlich, dass die Möglichkeit, während einer Tauchkarriere einen Tiefenrausch zu erleben, durchaus gross sein kann. Wenn man nur vereinzelt in den Ferien taucht und sich nie höher als die erste Brevetierung ausbildet, trifft dies eher nicht zu. Wenn man jedoch tiefer taucht und grundsätzlich mehr Tauchgänge absolviert, wird die Gefahr einen Tiefenrausch zu erleben deutlich grösser. Ebenfalls wird auch sehr deutlich, wie vielseitig und komplex dieses Phänomen ist.

Es ist unmöglich, allgemeingültige Angaben zur Tiefe, dem Verlauf, den Gefühlen und Symptomen oder dem Verhalten zu machen. Es gibt kein Schema, welches exakt auf alle Taucher*innen zutrifft, nicht einmal ein gleichbleibendes Schema für eine einzige Person lässt sich erstellen. Es ist nicht möglich, allgemeingültige Symptome, Gefühle oder Verhaltensweisen mit dem Tiefenrausch und/oder dem Auftreten in einer bestimmten Tiefe zu verknüpfen. Viel zentraler sind die äusseren und inneren Faktoren, welche begünstigend oder hindernd auf die Entwicklung einer Stickstoffnarkose wirken. Der Tiefenrausch kann

immer verschieden sein, sodass lediglich grobe Muster oder Tendenzen erkennbar sind. Diese sind zwar nicht allgemeingültig, sagen jedoch trotzdem etwas aus. Die Tiefe und somit der Partialdruck des Stickstoffes sind ganz klar ausschlaggebend für das Phänomen. Es gibt eine kritische Zone, in welcher sich die Vorfälle häufen. Diese liegt im unteren Bereich des Sporttauchens, zwischen 35 und 45 m. Darunter wird grundsätzlich mit stickstoffärmeren Gemischen getaucht, darüber ist der N_2 -Partialdruck nicht gross genug. Die Brevetierung gibt diese Tiefengrenze vor und ist daher in diesem Bezug relevant, jedoch spielt Erfahrung und Ausbildung wohl eine grössere Rolle.

Dass das Phänomen komplex ist, zeigt sich auch in den vielseitigen Einschätzungen der Proband*innen. Um genauere Erklärungen und Muster geben zu können, müssten Experten aus verschiedenen Gebieten wie Medizin, Chemie, Biologie, Physik und Neurologie weitere Experimente und Forschungen durchführen. Dies wäre zwar sehr spannend, jedoch auch extrem spezifisch und für die gesamte Allgemeinheit nicht allzu sehr von Bedeutung. Denn obwohl das Phänomen komplex und wissenschaftlich anspruchsvoll ist, sollten in der Tauchszene das Bewusstsein und das Wissen gesteigert werden. In der Ausbildung wäre es sinnvoll und relevant, die Thematik zu vertiefen und insbesondere den notwendigen Umgang und das Erkennen des Tiefenrausches zu elaborieren.

7 Nachwort

7.1 Reflektion des Arbeitsprozesses

Den Arbeitsprozess meiner Maturaarbeit habe ich durchaus als positiv empfunden. Zu Beginn ist es mir schwergefallen, das Thema bestmöglich einzugrenzen. Dies war ein Phänomen, welches im Verlauf der Arbeit immer wieder auftauchte. Ich wollte zu viel und hatte zu hohe Ansprüche an mich selber und an meine Arbeit. Daher war der Anfang der Arbeit vermutlich der schwierigste Schritt. Als diese erste Hürde überwunden war, konnte ich mir immer besser vorstellen, wohin ich mit der Arbeit wollte. Ich habe mir relativ schnell ein gewisses Fachwissen angeeignet und war fasziniert von der Thematik. Durch eine Knieverletzung, der Operation und der darauffolgenden Reha wurde der Arbeitsprozess im Frühling 2021 relativ drastisch unterbrochen. Ich war körperlich einfach nicht in der Lage, mich mit der Arbeit zu befassen oder mir Gedanken darüber zu machen. Daher war ich von diesem Zeitpunkt an eigentlich hinter meinem ursprünglichen Zeitplan. Schlussendlich war das aber gar nicht so schlimm. Ich habe mich zeitlich neu orientiert und dadurch, dass ich ursprünglich genug Reservezeit eingeplant hatte, kam ich nie in riesige Zeitnot.

Es war mir wichtig, organisiert und zuverlässig zu arbeiten. Ich wollte eine gute Struktur und Organisation in meinem Arbeitsprozess haben, um das bestmögliche aus meiner Arbeit herauszuholen. Für jemanden, der oftmals Aufgaben auf den letzten Drücker erledigt, ist mir das, doch sehr gut gelungen.

Im Nachhinein gibt es einige Kleinigkeiten, welche ich beim nächsten Mal vielleicht anders machen würde. Man kann immer noch weitere Aspekte und Zusammenhänge erkunden, jedoch muss man sich auch irgendwann für einige davon entscheiden. Sollte ich diese Arbeit in irgendeiner Weise einmal weiterführen, fände ich es sehr spannend, einen kurzen Wissenstest bei den Proband*innen durchzuführen, welcheangaben, über den Tiefenrausch und dessen Mechanismen und Konsequenzen Bescheid zu wissen. Würde ich diese Arbeit in einem universitären Umfeld weiterführen, wäre es durchaus sinnvoll, eine praktische Versuchsreihe in einer Druckkammer durchzuführen und auszuwerten. Ich kann jedoch nachvollziehen, dass die Schule mir das aus versicherungstechnischen und finanziellen Gründen nicht bewilligen konnte. Insbesondere die Verbindung zwischen Tiefenrausch und Dekompressionskrankheit hätte ich gerne geschlagen, jedoch sollte es in diesem Rahmen nicht sein. Ich wäre niemals in der Lage gewesen, beide Aspekte sowie die Verbindung im gewünschten Umfang zu evaluieren ohne grosse (nicht verantwortbare) Mengen an Informationen und Erkenntnissen wegzulassen. Daher habe ich mich dazu entschieden, den Teil

der Dekompressionskrankheit erst einmal wegzulassen (obwohl ich ein super Interview dazu durchgeführt habe) und mich auf die riesige Menge an Antworten zum Tiefenrausch zu fokussieren. Diese Entscheidung war nicht leicht, aber ich bin davon überzeugt, dass es im Endeffekt die richtige war. Ich werde den Teil der Dekompressionskrankheit für mich selber weiter ausführen und später in die Arbeit integrieren. Ich habe persönlich sehr viel Faszination in der Thematik gefunden und das ist etwas, was ich für mich gerne machen würde.

Abschliessend kann ich klar sagen, dass ich mit dem Arbeitsprozess und der eigentlichen Maturaarbeit zufrieden bin. Mit dem Fertigstellen der Arbeit blicke ich auf eine sehr anstrengende, aber auch sehr spannende Zeit zurück. Ich konnte akademisch sowie persönlich viel lernen und die Erfahrung, eigenständig eine solche Arbeit zu verfassen, wird mir in der Zukunft sicherlich noch behilflich sein.

7.2 Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meiner Betreuungsperson Christian Lischer bedanken. Sie waren während des gesamten Verlaufes der Arbeit immer eine grosse Unterstützung und haben mir geholfen, meine vielen Ideen zu konkretisieren. Für die Hilfe und das Feedback während der gesamten Arbeit bin ich sehr dankbar. Ich konnte durch die Zusammenarbeit viel Neues lernen und das stetige Vertrauen in mich schätze ich sehr.

Mein Dank gebührt auch Silvia Schwaller, welche freundlicherweise die Korreferenz für meine Arbeit übernommen hat. Auch hier bin ich für das Vertrauen sehr dankbar.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei den folgenden Personen:

- Martin Müller vom Dive-Store Augst
- Franziska und Antéo Diana von Funny-Diving Münchenstein
- eine Fachperson, welche wünscht, anonym zu bleiben

Sie haben mich durch Ihr grosses Fachwissen und Ihre langjährige Erfahrung als Tauchlehrer/Tauchschulbesitzer enorm bei meiner Arbeit unterstützt. Es ist immer schön, mit Menschen zusammen zu arbeiten, welche vor Enthusiasmus über eine Thematik nur so sprühen.

Vielen Dank auch an Martin Hänggi. Obwohl der eigentliche Beitrag es nicht in diese Version der Arbeit geschafft hat, habe ich enorm davon profitieren können. Sowohl auf persönlicher als auf tauchspezifischer Ebene konnte ich unglaublich viel von Ihnen lernen. Ihre

Erfahrungen sind inspirierend und haben mich dazu motiviert, noch eine weitere, umfangreichere Arbeit zu verfassen.

Ich möchte mich auch bei meinem Klassenlehrer Daniel Bühler für die ehrlichen Worte und stetige Hilfsbereitschaft bedanken. Obwohl Sie in keiner Weise dazu verpflichtet waren, haben Sie mich mehrfach unterstützt und mir Feedback gegeben. Ihr enormes Fachwissen ist immer wieder aufs Neue faszinierend und ich habe grössten Respekt dafür.

Dank gebührt auch dem Schweizer-Unterwasser-Sport-Verband SUSV, dem Forum Swiss-divers und allen Tauchclubs, welche mir bei der Verbreitung der Umfrage sehr behilflich waren. Ohne diese Hilfe wäre ich nie in der Lage gewesen, eine solch grosse Probandengruppe zu erforschen.

Ich möchte mich ebenfalls bei allen Taucher*innen bedanken, welche an meiner Studie teilgenommen haben. Die Unterstützung, die ich von der Tauchszene erhalten habe, hat mich sehr inspiriert. Von den vielen positiven Feedbacks, Ermunterungen und der riesigen Hilfsbereitschaft, welche ich erfahren habe, bin ich sehr gerührt.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Monica Terragni für das Gegenlesen meiner Arbeit und die sprachlichen und grammatikalischen Feedbacks. Ich weiss diesen enormen Aufwand sehr zu schätzen.

Dank gebührt auch dem Gymnasium Kirschgarten, in welchem ich die letzten 3,5 Jahren eine hervorragende Bildung geniessen durfte. Ich wurde immer in meinen individuellen und schulischen Zielen unterstützt, sodass ich meinen persönlichen Ambitionen stets gerecht wurde.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Freunden. Das gegenseitige Verständnis und die gegenseitige Motivation beim Verfassen unserer Arbeiten hat mich sehr inspiriert.

Ganz zum Schluss möchte ich mich auch noch bei meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, für die grossartige Unterstützung und den emotionalen Support bedanken. Ihr habt mich überall, wo es euch irgendwie möglich war, unterstützt und euch stets mit grossem Interesse für die Thematik, den Arbeitsprozess und die Resultate meiner Arbeit interessiert. Das Verfassen der Arbeit hat viel Zeit in Anspruch genommen, deshalb bin ich sehr dankbar für eure Rücksicht, euer Verständnis und euren Aufwand.

8 Quellenverzeichnis

8.1 Gedruckte Quellen

Bühlmann, Albert A. / Völlm, Ernst B. / Nussberger, Peter: Tauchmedizin: Barotrauma, Gasembolie, Dekompressionskrankheit, Dekompressionscomputer. Berlin Springer ⁵2002

Eckebrecht, Detlef: Natura 9-12 Grundlagen der Biologie für Schweizer Maturitätsschulen. Klett und Balmer Baar ¹2018

Kammer, Hans / Mgeladze, Irma: Physik für Mittelschulen. Bern hep ²2014

Klingmann, Christoph / Tetzlaff, Kay: Moderne Tauchmedizin: Handbuch für Tauchlehrer, Taucher und Ärzte. Stuttgart Gentner ¹2007

8.2 Elektronische Quellen

Atemgas in: Wikipedia-Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 18. Juli 2021 04:00 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Atemgas> (abgerufen: 31/08/2021 22:00 CEST)

Bove, Alfred A. in: MSD Manual. Bearbeitungsstand: Juli 2019. URL: <https://www.msdmanuals.com/de/profi/verletzungen,-vergiftungen/verletzungen-beim-tauchen-oder-bei-der-arbeit-mit-druckluft/gastoxizität-beim-tauchen> (abgerufen: 01/09/2021 21:05 CEST)

Erdatmosphäre in: Wikipedia-Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 14. September 2021 11:37 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Erdatmosphäre> (abgerufen: 16/09/2021 16:15 CEST)

König Peter / Lipp Andreas: Lehrbuch für Forschungstaucher 2007 Kapitel 1 Physikalische Grundlagen. Elektronisch als PDF URL: <https://www.ifm.uni-hamburg.de/education/diver/documents-diver/ft-book/kap1-physgrund.pdf> (abgerufen 31/08/2021 19:54 CEST)

Partialdruck in: Wikipedia-die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 02. Oktober 2019 04:08 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Partialdruck> (abgerufen 28/08/2021 13:50 CEST)

Sauerstoff: Medikament und Gift zugleich in: aquamed-eine Marke der Medical Helpline Worldwide GmbH. Bearbeitungsstand: o.D. URL: <https://www.aqua-med.eu/medizin/aerztlicheleistungen/medizinische-artikel/medizinische-artikel/sauerstoff/> (abgerufen 01/09/2021 21:30 CEST)

Tiefenrausch in: Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTUEM). Bearbeitungsstand: o.D. URL: <https://www.gtuem.org/981/Tauchmedizin/Tiefenrausch> (abgerufen 24/08/2021 12:10 CEST)

Tiefenrausch in: Öffentliches Gesundheitsportal Österreichs (GESUNDheit.gv.at). Bearbeitungsstand: 02. Juli 2018. URL: <https://www.gesundheit.gv.at/krankheiten/verletzungen/tiefenrausch> (abgerufen 24/08/2021 11:30 CEST)

Tiefenrausch in: Wikipedia-Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 22. August 2020 07:40 UTC. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tiefenrausch> (abgerufen 07/10/2021 18:20 CEST)

8.3 Bildquellen

Titelbild: Cyril Hoppler 2016

8.4 Mündliche Quellen

Herr Daniel Bühler durch Feedbacks in mündlicher und schriftlicher Form in Bezug auf physikalische und chemische Probleme.

8.5 Abbildungsverzeichnis und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: Höchste erlangte Brevetierung der Proband*innen (n=221).....	21
Abbildung 2: Anzahl absolvierte Tauchgänge der Proband*innen (n=221).....	22
Abbildung 3: Haben Sie persönlich schon einmal einen Tiefenrausch erlebt? (n=221).....	23
Abbildung 4: In welcher Tiefe trat der Tiefenrausch auf? (n=124).....	24
Abbildung 5: In welcher Art Gewässer tauchen Sie mehrheitlich? (n=221).....	24
Abbildung 6: In welcher Häufigkeit tauchen Sie? (n=221).....	25
Abbildung 7: In welcher Häufigkeit sind Ihre Tauchgänge tiefer als 30 m? (n=221).....	26
Abbildung 8: Welche Gefühle verspürten Sie während der Stickstoffnarkose? (n=124).....	27
Abbildung 9: Welche Symptome traten während des Tiefenrausches auf? (n=124).....	28
Abbildung 10: Einschätzung: Wie schätzen Sie die Beeinflussung Ihres Verhaltens durch den Tiefenrausch ein? Skala von 1=gar nicht bis 10= vollkommen (n=124).....	30
Abbildung 11: Einschätzung: Wie häufig kommt es bei einem Tauchgang unter 25 m zu einem Tiefenrausch? Skala von 1=nie bis 10=immer (n=221).....	31
Abbildung 12: Einschätzung: Wie gefährlich kann ein Tiefenrausch sein? Skala von 1=völlig harmlos bis 10=lebensgefährlich (n=221).....	32
Abbildung 13: Einschätzung: Wie oft kommt es aufgrund von Tiefenräuschen zu Tauchunfällen? Skala von 1=nie bis 10=sehr oft (n=221).....	33
Abbildung 14: Sind Sie sich über die Funktionsweisen des Tiefenrausches im Körper bewusst? (n=221).....	34
Abbildung 15: Sind Sie sich über Folgen des Tiefenrausches bewusst? (n=221).....	34

Tabellen

Tabelle 1: Vereinfachte Komposition der atmosphärischen Luft, Stand 2020.....	7
Tabelle 2: Partialdrücke von Sauerstoff und Stickstoff (Druckluft) in verschiedenen Wassertiefen.....	11
Tabelle 3: Durchschnittliches Alter und Taucherfahrung der Proband*innen (n=221).....	21
Tabelle 4: Auftreten des Tiefenrausches bei jeweiligen Brevetierungen (n=221).....	25
Tabelle 5: Antworten von Experten in Bezug auf verschiedene Aspekte der Problematik.....	35
Tabelle 6: Exakte Komposition der atmosphärischen Luft, Stand 2007.....	50
Tabelle 7: Einschätzungen zum Vorkommen des Tiefenrausches unter 25 m, der Gefährlichkeit des Tiefenrausches und der Häufigkeit von Unfällen aufgrund des Tiefenrausches (n=221).....	56
Tabelle 8: Tauchspezifisches Vokabular.....	57
Tabelle 9: Arbeitsjournal.....	83

9 Anhang

9.1 Ausführungen der Theorie und ergänzende Informationen

Anatomie

Die Lunge sowie die oberen (Nase, Rachenraum, Kehlkopf und Stimmbänder) und unteren (Trachea, Bronchien und Bronchiolen) Atemwege werden anatomisch als Atemorgan bezeichnet. Gerade die Lunge ist als grosser gasgefüllter Hohlraum von den Gasen und physikalischen Bedingungen, welche beim Tauchen herrschen, stark betroffen.

Die Lunge besteht aus zwei Flügeln, welche sich links in zwei und rechts in drei Lungenlappen gliedern. Zwischen den beiden Lungenflügeln befindet sich das Mediastinum, welches das Herz und die grossen Körpergefässe einbettet. Die Trachea beginnt unterhalb der Glottis und teilt sich auf Höhe des Th 5 in den linken und rechten Stammbronchus auf, welche sich wiederum links in zwei und rechts in drei Lappenbronchien verzweigt. Diese gabeln sich in immer kleinere Bronchien bis hin zu den Bronchiolen, die schlussendlich in die Alveolen münden (Klingmann et al. 2007).

Physiologie

Sowohl unter Wasser als auch über der Wasseroberfläche ist die zentrale Aufgabe des Atemorgans die Atmung. Dies ist ein lebensnotwendiger Vorgang und hilft der Gewinnung von Energie. Differenziert wird zwischen der inneren und der äusseren Atmung. Als innere Atmung bezeichnet man den Austausch von Sauerstoff aus dem Blut in die jeweiligen Gewebe und dem Kohlenstoffdioxid aus den Geweben ins Blut (zellulärer Gasaustausch) Die äussere Atmung beschreibt den Transport der Atemluft über die Atemwege zu den Alveolen (Ventilation) und den Übergang vom Sauerstoff von den Alveolen ins Blut sowie vom Kohlenstoffdioxid aus dem Blut in die Alveolen (alveolärer Gasaustausch) (Klingmann et al. 2007).

Bei der Ventilation wird zwischen Brustatmung und Bauchatmung unterschieden. Beides trägt zum Transport des Atemgases bei. Bei der Brustatmung heben und senken die inneren und äusseren Muskeln der Zwischenrippenmuskulatur den Brustkorb, durch die Flüssigkeit im Zwischenraum der Muskulaturhülle und der Lungenhülle wird das Heben und Senken auf die Lunge übertragen. Bei der Bauchatmung zieht sich das Zwerchfell zusammen und vergrössert damit den Brustraum und somit auch die Lunge, man atmet ein. Dabei wird das Zwerchfell gespannt und abgeflacht. Erschlaffen die Muskeln wieder, geht das Zwerchfell wieder in seine Ausgangslage zurück und der Brustraum und somit die Lunge wird verkleinert, man atmet aus. Mit der Vergrösserung des Volumens sinkt der Luftdruck, wodurch der Luftdruck ausserhalb des Körpers nun grösser ist als in der Lunge. Das erlaubt der Luft von aussen in die Lunge zu strömen, bis der Druckunterschied ausgeglichen ist. Umgekehrt ist

der Luftdruck bei einer Verkleinerung des Volumens im Vergleich zum Aussendruck höher, was zu einem Luftausstrom führt, bis der Druckunterschied ausgeglichen ist (Eckebrecht et al. 2018).

Feinste Blutgefässe, die Kapillaren, umgeben die Alveolen und stellen somit die Verbindung zwischen Herz und Lunge sicher. Die grundlegende Funktion des kardiopulmonalen Systems, der Gasaustausch zwischen dem Blut und der Atemluft, findet über die Grenzfläche zwischen den Alveolen und den Kapillaren, der alveolokapillären Schranke, statt. Die Kapillaren sind dabei die Verbindung zwischen den vom Herzen kommenden Lungenarterien (sauerstoffarm) und den zum Herzen gehenden Lungenvenen (sauerstoffreich). Das CO_2 in den Erythrozyten des sauerstoffarmen Blutes wird bei den Alveolen mit O_2 ersetzt, wodurch das nun sauerstoffreiche Blut zurück zum Herzen und in den Körper geht und das CO_2 ausgeatmet wird. Entscheidend für den durch Diffusion stattfindenden Austausch sind die Konzentrationsunterschiede von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid zwischen dem Blut und dem Alveolarraum (Klingmann et al. 2007).

Bestandteile der atmosphärischen Luft

Gemäss ISO 2533 besteht diese (trockene) Luft aus (Tabelle 6, Stand 2007):

Element/Molekül	Volumenprozent
<i>Stickstoff (N_2)</i>	78.084%
<i>Sauerstoff (O_2)</i>	20.9476%
<i>Kohlendioxid (CO_2)</i>	0.0314%
<i>Argon (Ar)</i>	0.9340%
<i>Neon (Ne)</i>	0.001818%
<i>Helium (He)</i>	0.000524%
<i>Krypton (Kr)</i>	0.000114%
<i>Wasserstoff (H_2)</i>	0.000050%
<i>Xenon (Xe)</i>	0.0000087%

Tabelle 6: Exakte Komposition der atmosphärischen Luft, Stand 2007

(König et al. 2007)

Atemgaskomponenten

Stickstoff

Stickstoff macht fast 75% der atmosphärischen Luft aus, dennoch ist er für den menschlichen Organismus nur bedingt von Relevanz. Stickstoff ist ein Inertgas, welches im Tauchsport als Verdünnungsgas in Atemgemischen verwendet wird, um den Sauerstoffpartialdruck zu senken. Jedoch steigt mit zunehmendem Umgebungsdruck auch der Stickstoffpartialdruck, was zu einem zunehmend berausenden Effekt beim Taucher führt. Dieser Effekt wird als Stickstoffnarkose oder Tiefenrausch bezeichnet, und macht Stickstoff in hohen Anteilen als Atemgas für sehr tiefe Tauchgänge ungeeignet (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Sauerstoff

Jedes Gasmisch, welches als Atemgas verwendet wird, muss zwingend zu bestimmten Teilen aus Sauerstoff bestehen. Der menschliche Körper ist auf Sauerstoff angewiesen, da dieser die Grundvoraussetzung für alle essenziellen Stoffwechselprozesse ist. Da wir Sauerstoff nicht im Körper speichern können, ist die kontinuierliche Atmung unerlässlich, um die permanente Energiezufuhr zu gewährleisten. Abhängig von den Umgebungsgegebenheiten und der benötigten körperlichen Anstrengung geht man davon aus, dass Sauerstoff ab einem Sauerstoffpartialdruck p_{O_2} von circa 1,4 bar bis 1,6 bar zunehmend toxisch auf das Zentralnervensystem auswirkt. Bei Kälte und körperlicher Anstrengung droht die Gefahr der Sauerstoffvergiftung früher, als bei wärmeren Bedingungen und ohne körperliche Anstrengung. Wie Inertgase wird auch Sauerstoff beim Atmen unter hohem Druck im Körper respektive nur im Nervensystem angereichert. Dies ist aber nur bei Atemgasen von Bedeutung, welche im Vergleich zur atmosphärischen Luft einen deutlich höheren Sauerstoffanteil haben. Dennoch führt dies dazu, dass der Sauerstoff bei der Berechnung von Restsättigung und Entsättigungszeit beachtet werden muss (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Helium

Helium ist nach Stickstoff das am häufigsten verwendete Verdünnungsgas in Atemgemischen, insbesondere im technischen Tauchen. Als Inertgas zeigt Helium ein ähnliches Verhalten zu Stickstoff, ist im Vergleich aber kleiner. Daher findet die Lösung im Gewebe und auch die Entsättigung viel schneller statt als beim Stickstoff. Dies hat jedoch eine Verlängerung der Dekompressionszeit zur Folge, da der Druck im Vergleich zu Stickstoff vorsichtiger verringert werden muss. Helium hat in grossen Tiefen ebenfalls einen Einfluss auf das Zentralnervensystem, Effekte können beim technischen Tauchen ab 150 bis 200 m auftreten. Es wurden beim kommerziellen Tauchen bei langsamer Druckerhöhung aber auch schon 600 m ohne Symptome erreicht (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Wasserstoff und Neon

Wasserstoff und Neon werden nur sehr selten und bei extremen Tauchgängen als Atemgas-komponente verwendet. Beide verhalten sich wie Inertgase (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Technisches Tauchen und entsprechende Problematiken

So überlebenswichtig der Sauerstoff für uns Menschen ist, er bringt auch Nachteile mit sich wie die Tiefenbegrenzung aufgrund des Sauerstoffpartialdruckes des Atemgases. Während der Sauerstoffanteil beim Nitrox-Tauchen künstlich erhöht wurde (hyperoxisches Gemisch), muss er in Tauchgasen für grössere Tiefen künstlich gesenkt werden (hypoxisches Gemisch), um eine Sauerstoffvergiftung zu verhindern. Hypoxische Gemische mit weniger als 17% können über Wasser nicht geatmet werden, da der Sauerstoffanteil für das Gehirn nicht ausreichend ist. In 10 m Tiefe entspricht der Partialdruck eines Gemisches mit 12% Sauerstoff 0,24 bar und ist somit lebenserhaltend, während dies an der Oberfläche eine ernsthafte Gefahr darstellt. So müssen nicht nur die Maximal-, sondern auch die Minimal-tiefen beachtet werden (Klingmann et al. 2007).

Da der Rest des Volumens neben dem Sauerstoff nicht nur mit Stickstoff aufgefüllt werden kann, muss ein anderes Füllgas verwendet werden. Im technischen Tauchen wird heute meistens Trimix eingesetzt. Dabei handelt es sich um ein Gemisch aus drei Gasen, welche normalerweise O_2 , N_2 und He sind. Dabei werden die Gase in einem Verhältnis gemischt, damit der Sauerstoffpartialdruck in der Zieltiefe in einem normoxischen bis leicht hyperoxischen Bereich liegt, während die Narkosetiefe meistens flacher als 30 m gewählt wird. Unter der Narkosetiefe versteht man den Anteil des Stickstoffs im Atemgas, welcher zu den Symptomen des Tiefenrausches führt. Der Rest des Volumens wird mit Helium aufgefüllt (Klingmann et al. 2007). Beim technischen Tauchen können verschiedene Trimix-Gemische für Tauchtiefen bis 200 m verwendet werden, beim kommerziellen Tauchen auch noch tiefer (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Bei sogenannten Heliox-Gasgemischen (**Helium & Oxygen**) wird der Stickstoff komplett aus dem Atemgas entfernt und neben dem erwünschten Sauerstoffanteil nur mit Helium ergänzt. Dadurch fällt die Gefahr einer Stickstoffnarkose vollständig weg. Jedoch ist dies auch nicht ideal, denn eine minimale Stickstoffnarkose ist durchaus zweckmässig. Schliesslich haben wir auch an der Wasseroberfläche einen physiologischen Stickstoffpartialdruck von ungefähr 0,79 bar, welcher durch den atmosphärischen Stickstoff verursacht wird. Ausserdem dämpft dieser Stickstoffpartialdruck das Auftreten eines HPNS-Syndroms (Klingmann et al. 2007).

Heliox-Gemische werden im kommerziellen Tauchen in Tiefen bis zu 600 m verwendet (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

In grösseren Tiefen: $Trimix = He + N_2 + O_2$ ($O_2 < 21\%$, $(He + N_2) > 79\%$, $He \geq 79\%$)
 $Heliox = He + O_2$ ($O_2 < 21\%$, $He > 79\%$)

(König et al. 2007)

Gasgemische wie Neox ($Ne + O_2$), Hydreliox ($H_2 + He + O_2$) und Hydrox ($H_2 + O_2$) finden im technischen Tauchen ebenfalls Verwendung, sind aber aufgrund von Kosten-, Lagerungs- und Sicherheitsfaktoren nicht so verbreitet (Atemgas Wikipedia, abgerufen 31/08/21).

Für lange und tiefe Tauchgänge werden häufig Kreislaufgeräte verwendet. Diese bewirken, dass man mit dem gleichen Gasvorrat deutlich längere Tauchgänge durchführen kann. Bei normaler Atmung wird nur ein kleiner Teil verstoffwechselt, weshalb man das Atemgas im Kreis leiten, CO_2 als metabolisches Abfallprodukt chemisch binden und den verbrauchten Sauerstoff ersetzen kann. Je nach Gerätetyp wird nur der verbrauchte Sauerstoff oder ein bereits vorgemischtes Gas zugeführt, der Kreislauf kann entweder komplett geschlossen oder halbgeschlossen sein. Die Kombinationsmöglichkeiten sind sehr gross. Allerdings gibt es beim Tauchen mit Kreislaufgerät einige Gefahren wie «Leeratmen» oder Hyperkapnie (Klingmann et al. 2007).

Gasgesetze

Der Druck ist die physikalische Grösse mit dem grössten Einfluss im Tauchsport. Dieser ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Für die folgenden Gesetze wird vom Modell des idealen Gases ausgegangen. Reale Gase verhalten sich bei den für uns relevanten Bedingungen (Druck nicht extrem hoch, Temperatur nicht extrem tief) annähernd wie ideale Gase.

Boyle-Mariotte

Das Gesetz von Boyle-Mariotte (isotherme Zustandsgleichung) beschreibt das Verhältnis von Gasdruck p und Gasvolumen V bei konstanter Temperatur T und konstanter Gasmenge n .

Es gilt: $p \times V = \text{konstant}$ oder $p_1 \times V_1 = p_2 \times V_2$ für $T = \text{konstant}$

Das Gasvolumen V nimmt bei zunehmendem Druck, respektive zunehmender Tiefe, ab und nimmt bei abnehmendem Druck respektive abnehmender Tiefe zu (für das Lungenvolumen und die Grösse gebildeter Gasblasen im Körper etc. von grosser Signifikanz). (Kammer et al. 2014).

Amontons

Das Gesetz von Amontons (isochore Zustandsgleichung) beschreibt das Verhältnis von Gasdruck p und Temperatur T bei konstantem Gasvolumen V und konstanter Gasmenge n .

$$\text{Es gilt: } \frac{p}{T} = \textit{konstant} \textit{ oder } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \textit{ für } V = \textit{konstant}$$

Der Gasdruck p nimmt bei abnehmender Temperatur T ab respektive bei zunehmender Temperatur T zu (Kammer et al. 2014).

Gay-Lussac

Das Gesetz von Gay-Lussac (isobare Zustandsgleichung) beschreibt das Verhältnis von Gasvolumen V und Temperatur T bei konstantem Druck p und konstanter Gasmenge n .

$$\text{Es gilt: } \frac{V}{T} = \textit{konstant} \textit{ oder } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \textit{ für } p = \textit{konstant}$$

Das Gasvolumen V nimmt bei abnehmender Temperatur T ab respektive bei zunehmender Temperatur T zu (Kammer et al. 2014).

Universelles Gasgesetz

Kombiniert gilt dies bei konstanter Gasmenge n als: $\frac{p \times V}{T} = \textit{konstant} \textit{ oder } \frac{p_1 \times V_1}{T_1} = \frac{p_2 \times V_2}{T_2}$ und als universelles Gasgesetz bei variabler Stoffmenge n und unter Einbezug der universellen Gaskonstante $R = 8.314472 \frac{J}{\text{mol} \times K}$ als: $p \times V = n \times R \times T$ (Kammer et al. 2014).

Weitere toxikologische Phänomene

Kohlenstoffdioxidvergiftung

Eine CO_2 -Vergiftung im Tauchen kann verschiedene Ursachen wie Hypoventilation, Überanstrengung, Tieftauchen, enger Neoprenanzug oder Fehlfunktion des Regulators haben.

Durch Hypoventilation kann es zu erhöhten CO_2 -Werten im Blut sowie Atemnot und Sedierung kommen. Bei schweren Vergiftungen zeigen sich oftmals Symptome wie Übelkeit, Schwindel, Erbrechen, Kopfschmerz, Tachypnoe und vertiefte Atmung sowie Verwirrtheit

und Krampfanfälle. Anzeichen einer leichten CO_2 -Vergiftung bestehen, wenn der Taucher einen extrem geringen Luftverbrauch hat und/oder oftmals Kopfschmerzen in Verbindung mit dem Tauchen hat. Gewöhnlicherweise verschwindet eine CO_2 -Vergiftung während des Auftauchens wieder (Bove, abgerufen 01/09/21).

High-Pressure-Nervous-Syndrom

HPNS ist eine ernstzunehmende Gefahr, welche sich bei grossen Tiefen (ab 120 m) entwickeln kann. Das Syndrom bewirkt neuromuskuläre und zerebrale Abweichungen und wird durch die direkte Auswirkung der schnellen Druckzunahme auf die Zellmembrane verursacht (Klingmann et al. 2007). Meistens tritt HPNS bei Tiefen ab 180 m bei schneller Kompression mit Atmung von Helium/Sauerstoff-Gemischen auf, die Gefahr besteht aber auch bei geringeren Tiefen ab 120 m. Zu den Symptomen gehören unter anderem Übelkeit, Erbrechen, Schwindel, Müdigkeit, leichtes Zittern, fehlende Koordination, Somnolenz, myklonisches Zucken und Störungen von psychomotorischen und intellektuellen Abläufen. Vorbeugend kann die Kompressionsrate etwas verlangsamt werden und ein kleiner Anteil eines narkotischen Gases wie Stickstoff zum Atemgas dazugegeben werden (Bove, abgerufen 01/09/21).

Qualitative Umfrage, gekürzte Version

Der Tiefenrausch sei definitiv ein Phänomen, welches gerade in der Szene der Sporttaucher*innen, aber auch in der Tauchausbildung unterschätzt und verharmlost wird. Leider wird in der Ausbildung nur sehr wenig darüber erzählt und Konsequenzen oder richtige Verhaltensweisen werden kaum aufgezeigt. Auch bei Ferientaucher*innen sei dies öfters noch der Fall, da man sich hier bei uns eher auf Anzeichen achte. Im technischen Tauchen findet das Phänomen durch die Gaswechsel etc. sicherlich mehr Aufmerksamkeit als bei Sporttaucher*innen.

Bei Anfänger*innen erleben die Expert*innen es laut eigener Meinung selten, dass Schüler*innen einen Tiefenrausch verspüren. Dies sei hauptsächlich der Fall, da diese sich nur in geringen Tiefen bis maximal 18 m befinden. Je nach Ausbildung kommt es vor, mit Schüler*innen einen Tiefenrausch zu simulieren. Bei fortgeschrittenen Taucher*innen kommt das häufiger vor, diese tauchen meistens auch tiefer. Bei brevetierten Taucher*innen im Rahmen eines Tauchclubs komme ein Tiefenrausch schon häufiger vor, insbesondere, wenn Leute nicht regelmässig tiefere Tauchgänge machen oder generell wenig Kaltwassererfahrung haben. Laut eigener Erfahrung soll mindestens 1 von 3 Taucher*innen schon Anzeichen eines Tiefenrausches gezeigt haben.

Die Bedeutung der Brevetierung sei in der Theorie und für die Versicherung wichtig, jedoch seien die Erfahrung und die Tagesform die entscheidenden Faktoren des Tiefenrausches. Sowohl die richtige Einschätzung der persönlichen Form und Fähigkeiten als auch die körperlichen Voraussetzungen seien die zentralen Aspekte. Immer wieder kommt es durch Selbstüberschätzung und dem Nichteingestehen der persönlichen Verfassung oder auch durch mangelhafte Ausrüstung zum Tiefenrausch oder gar zu Unfällen.

Ein Tiefenrausch kann schwerwiegende Folgen haben. Der Tiefenrausch kommt langsam. Wenn man selber oder der Tauchbuddy nicht entsprechend reagiert, spürt man sich ähnlich wie bei einem Alkoholrausch selber nicht mehr. Oftmals ist es nicht der Tiefenrausch selber, welcher das Problem darstellt, sondern die unüberlegten oder unkontrollierten Handlungen, welche dann zu Unfällen oder Schlimmerem führen. Vieles kann aber durch ein funktionierendes Buddy-System und entsprechender Vorsicht vermieden werden.

Weiterführende statistische Analyse der Einschätzungen (Tabelle 7):

	Vorkommen des Tiefenrausches unter 25 m	Gefährlichkeit des Tiefenrausches	Häufigkeit von Unfällen aufgrund des Tiefenrausches
Minimum	1	2	1
Unteres Quartil	2	7	4
Median	3	8	6
Oberes Quartil	5	10	7
Maximum	10	10	10

Tabelle 7: Einschätzungen zum Vorkommen des Tiefenrausches unter 25 m, der Gefährlichkeit des Tiefenrausches und der Häufigkeit von Unfällen aufgrund des Tiefenrausches (n=221)

9.2 Legende tauchspezifisches Vokabular

SCUBA	Self-Contained Underwater Breathing Apparatus, Englisch für Drucklufttauchgerät, SCUBA-Diving bezieht sich auf den deutschen Begriff des Gerätetauchens
PADI	Professional Association of Diving Instructors, Ausbildungs- und Tauchorganisation
CMAS	Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques, Ausbildungs- und Tauchorganisation
OWD	Open Water Diver, Brevetierung von PADI, Tiefenbegrenzung 18 m
CMAS*	CMAS 1 Stern, Brevetierung von CMAS, Tiefenbegrenzung 18 m
AOWD	Advanced Open Water Diver, Brevetierung von PADI, Tiefenbegrenzung 30 m
Rescue	Rescue Diver, Rettungstaucher-Brevetierung von PADI, Tiefenbegrenzung 30 m
CMAS**	CMAS 2 Stern, Brevetierung von CMAS, Tiefenbegrenzung 30 m
Divemaster	Brevetierung von PADI, Tiefenbegrenzung 30 m (ohne zusätzliche Brevetierungen)
CMAS***	CMAS 3 Stern, Brevetierung von CMAS, Tiefenbegrenzung 40 m
Full Trimix	Brevetierung für Technisches Tauchen
Full Cave	Brevetierung für Höhlentauchen
Buddy	Tauchpartner
Buddy-System	Man taucht aus Sicherheitsgründen meistens mit einem oder zwei zugeordneten Buddys, diese sind verantwortlich für einander, bleiben zusammen, kommunizieren miteinander usw.
Finimeter	Manometer (Gerät), welches den verbleibenden Druck in der Druckluftflasche anzeigt, zeigt an wie viel Luft man noch in der Tauchflasche übrig hat
Nullzeitgrenze	Gibt an, wie lange man tauchen kann, ohne beim Aufstieg einen Dekompressionsstopp einlegen zu müssen, variiert je nach Tiefe und Atemgas
Dekostopp (Dekompressionsstopp)	Das absichtliche Verweilen auf einer spezifischen Tiefe während der Dekompression, so dass das im Gewebe und Blut gespeicherte Gas abgeatmet werden kann. Vermeidung von Gasblasen und folglich einer Dekompressionskrankheit

Tabelle 8: Tauchspezifisches Vokabular

9.3 Originaldokumente

Umfrage:

Maturaarbeit - Die Toxikologie des Gerätetauchens: Tiefenrausch (Vorschau) Microsoft Forms

11.10.21, 05:11

Maturaarbeit - Die Toxikologie des Gerätetauchens: Tiefenrausch

Im Rahmen meiner Maturaarbeit setze ich mich mit dem Tiefenrausch im Gerätetauchen (Fokus auf Sporttauchen, aber auch im Tec Bereich) auseinander. Der Fokus dieser Umfrage liegt dabei auf der Evaluation verschiedener beeinflussender Faktoren, der allgemeinen Einschätzung des Tiefenrauschs und dem generellen Vorkommen im Tauchsport.

Die Umfrage ist anonym und dauert maximal 10 Minuten.

Sollten Sie Fragen, persönliche Erlebnisse oder Inputs haben, kontaktieren Sie mich gerne unter: marjolein.overberg@stud.edubs.ch (<mailto:marjolein.overberg@stud.edubs.ch>).

Für eine wahrheitsgetreues Ausfüllen der Umfrage bin ich Ihnen sehr dankbar!

* Erforderlich

1. Geschlecht *

- Weiblich
- Männlich
- Anderes

2. Alter *

3. Gewicht *

- Unter 50 kg
- 51 - 70 kg
- 71 - 90 kg
- 91 - 100 kg
- Über 100 kg

4. Berufliche Tätigkeit ***5. Sind Sie Raucher*in? ***

- Ja
- Nein

6. Nehmen Sie verschreibungspflichtige Medikamente?

- Ja
- Nein

7. Welche Medikamente und weswegen?

8. Wie viele Tauchgänge haben Sie absolviert? *

9. Wie viele Jahre Taucherfahrung haben Sie? *

10. In welcher Häufigkeit tauchen Sie? *

- Wöchentlich
- Monatlich
- 2-4 mal pro Jahr
- 1 mal pro Jahr
- 1 mal pro 2 Jahre
- Weniger

11. Welches ist Ihre höchste Brevetierung? *

Gemäss den Klassifizierungen von PADI oder äquivalenten Ausbildungen

OWD = Open Water Diver

AOWD = Advanced Open Water Diver

Rescue = Rescue Diver

- OWD
- AOWD
- Rescue
- Divemaster
- Tauchlehrer/Instructor
- Berufstaucher
-
- Sonstiges

12. Haben Sie das Deep Diver Specialty Brevet? *

- Ja
- Nein

13. Wie tief war Ihr tiefster Tauchgang? *

14. Tauchen Sie mit einem Tauchcomputer? *

- Ja
- Nein

15. Planen Sie Ihren Tauchgang und Ihre Nullzeitgrenzen im Vorfeld mit einem RDP oder einer ähnlichen Methode? *

- Ja
- Nein

16. In welcher Häufigkeit sind Ihre Tauchgänge tiefer als 30 m? *

- Immer
- Sehr oft - oft
- Manchmal
- Selten
- Nie

17. In welchen Gewässern tauchen Sie mehrheitlich? *

- Tropische Gewässer (Beispielsweise Indischer Ozean)
- Kältere Gewässer (Beispielsweise Schweizer Seen)
- Gemässigte Gewässer (Beispielsweise Mittelmeer)

18. Haben Sie persönlich schon einen Tiefenrausch erlebt? *

- Ja
- Nein

19. Inwiefern haben Sie dies bemerkt? *

- Selber
- Während dem Tauchgang vom Buddy darauf aufmerksam gemacht worden
- Nach dem Tauchgang vom Buddy darauf aufmerksam gemacht worden
-
- Sonstiges

20. In welcher Tiefe befanden Sie sich im Tiefenrausch? *

21. Welche Gefühle haben Sie dabei verspürt? *

 Euphorie Glück Freude Unbeschwertheit Angst Benommenheit Panik

Sonstiges

22. Welche Symptome zeigten Sie während des Tiefenrauschs? *

- Halluzinationen
- Verminderte Konzentrationsfähigkeit
- Bewusstlosigkeit
- Eingeschränktes Urteilsvermögen
- Verminderter Orientierungssinn
- Falsches Farbsehen
- Metallischer Geschmack im Mund
- Übermässige Euphorie
- Akustische Sinnestäuschung/ Tinnitus

Sonstiges

23. Wie haben Sie sich während des Tiefenrauschs verhalten? *

24. Wie wurde die Situation behoben? *

25. Schätzen Sie ein, wie ihr Verhalten durch den Tiefenrausch beeinflusst wurde *

Gar nicht 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Vollkommen

26. Haben Sie sich nach dem Tauchgang einer ärztlichen Untersuchung unterzogen? *

- Ja
 Nein

27. Hatte der Tiefenrausch nachwirkende Folgen auf Ihre physische und/oder psychische Gesundheit? *

Ja

Nein

Sonstiges

28. Beschreiben Sie *

29. Schätzen Sie ein, wie häufig Tiefenrausch bei einem Tauchgang tiefer als 25 Meter auftritt *

Nie 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Immer

30. Schätzen Sie ein, wie gefährlich ein Tiefenrausch sein kann *

Völlig harmlos 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Lebensbedrohlich

31. Schätzen Sie ein, wie oft es auf Grund von Tiefenräuschen zu Tauchunfällen kommt *

Nie 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Sehr oft

32. Haben Sie schon einmal eine bedrohliche Situation oder einen Unfall miterlebt, welcher auf Grund des Tiefenrauschs entstanden ist? *

- Ja
 Nein

33. Beschreiben Sie wie es zu dieser Situation kam, was geschah und welche Konsequenzen die Situation hatte *

34. Ist Ihnen bewusst was beim Tiefenrausch in Ihrem Körper geschieht? *

- Ja
- Nein
- Nur teilweise

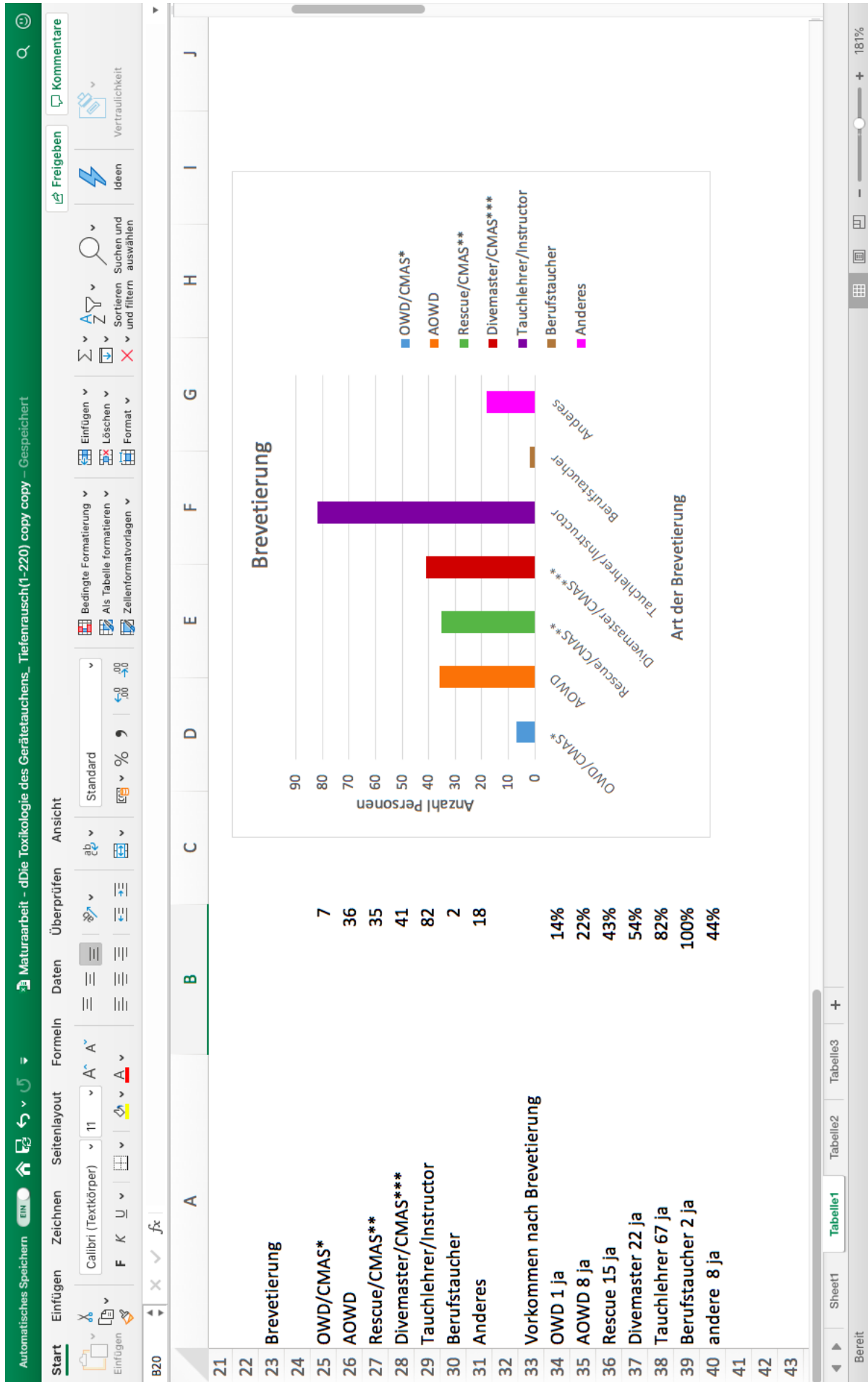
35. Ist Ihnen bewusst was für Folgen der Tiefenrausch für Sie haben kann? *

- Ja
- Nein
- Nur teilweise

36. Andere Erlebnisse und Erfahrungen, welche für das Verfassen meiner Arbeit von Bedeutung/Interesse sein könnten

Die gesamte Excel Tabelle mit allen vollständigen Antworten der Proband*innen ist mehrere hundert Seiten lang. Daher wird diese hier in zusammengefasster Form inklusive Auswertungen dargestellt.





Automatisches Speichern **EIN** Maturaarbeit - dDie Toxikologie des Gerätauchens_ Tiefenrausch(1-220) copy copy - Wird gespeichert...

Start Einfügen Zeichnen Seitenlayout 11 A A⁺ Formeln Daten Überprüfen Ansicht

Bedingte Formatierung Einfügen Löschen Format Bedingte Formatierung Als Tabelle formatieren Zellenformatvorlagen

Sortieren Suchen und und filtern auswählen

Freigegeben Kommentare

Vertraulichkeit

Ideen

Standard

0,00 0,00

Wöchentlich

monatlich

2-4 mal pro Jahr

1 mal pro Jahr

1 mal pro 2 Jahre

weniger

110

53

42

9

5

2

Y X W V U T

AG AF AE AD AC AB AA Z

Tauchhäufigkeit

Häufigkeit	Anzahl Personen
wöchentlich	110
monatlich	53
2-4 mal pro Jahr	42
1 mal pro Jahr	9
1 mal pro 2 Jahre	5
weniger	2

108 von 163: wöchentlich und monatlich schon Erfahrungen TR 66%

16 von 58: 2-4 oder weniger schon Erfahrungen TR 28%

Mehrheitliche Art des Gewässers

Art des Gewässers	Anteil
Kältere Gewässer	73%
Gemässigte Gewässer	18%
Tropische Gewässer	6%

167

14

40

Kältere Gewässer

Gemässigte Gewässer

Tropische Gewässer

18%

73%

6%

Sheet1 **Tabella1** Tabelle2 Tabelle3 +

Bereit

119%

Automatisches Speichern EIN Maturaarbeit - dDie Toxikologie des Gerätetauchens_ Tiefenrausch(1-220) copy copy - Gespeichert

Start Einfügen Zeichnen Seitenlayout Formeln Daten Überprüfen Ansicht

Calibri (Textkörper) 11 A A

F K U f

Einfügen Freigegeben Kommentare

Vertraulichkeit

Ideen

Sortieren Suchen und auswählen

und filtern

Bedingte Formatierung Als Tabelle formatieren Zellenformatvorlagen

Standard

ab

Standard

0,00

0,00

0%

W

V

U

T

S

R

Q

P

O

N

M

L

L54

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

Bereit

Sheet1 Tabelle1 Tabelle2 Tabelle3

125%

Bewusstsein über Folgen des Tiefenrausches

Folgen	Anzahl
Ja	193
Nein	2
Nur teilweise	26

Bewusstsein, was im Körper beim Tiefenrausch geschieht

Im Körper	Anzahl
Ja	185
Nein	1
Nur teilweise	35

Automatisches Speichern EIN Maturaarbeit - dDie Toxikologie des Gerätetauchens_ Tiefenrausch(1-220) copy copy - Gespeichert

Start Einfügen Zeichnen Seitenlayout Formeln Daten Überprüfen Ansicht

Designs Aa Schriftarten v Seitenänder Ausrichtung Größe Druckbereich Umbrüche Hintergrund Drucktitel Seite einrichten

Freigegeben Kommentare

Gitternetzlinien Ansicht Drucken Überschriften Ansicht Drucken

Breite: Automati... Höhe: Automati...

P236

Alter		Taucherfahrung	
Mittelwert Alter Frauen	44	Mittelwert Jahre Taucherfahrung Frauen	15
Standardabweichung	11,70	Standardabweichung	11,27
Mittelwert Alter Männer	48	Mittelwert Jahre Taucherfahrung Männer	19
Standardabweichung	12,14	Standardabweichung	11,71

Taufgänge	
Mittelwert Taufgänge Frauen	773
Standardabweichung	107,39
Mittelwert Taufgänge Männer	1085
Standardabweichung	1336,69

20
600
600
200
50
55
2450
6000
500
900
1900
70
5000
1195
1100
580
782
1100
660
750
350
417
180
67
202
600
300
400
2500
113
600
471
304
1500
125
280
4345
130
1800
648
3100
3400
520
116
1000
760
300
1400
400
500
1000
1000
700
1100

Sheet1 Tabelle1 Tabelle2 Tabelle3 +

Bereit 75%

Automatisches Speichern **EIN** Maturaarbeit - dDie Toxikologie des Gerätetauchens_ Tiefenrausch(1-220) copy copy - Gespeichert

Start Einfügen Zeichnen Seitenlayout Formeln Daten Überprüfen Ansicht

Designs Aa Schriftarten v Seitenänder Ausrichtung Größe Druckbereich Umbrüche Hintergrund Drucktitel Seite einrichten

Freigeben Kommentare

Automatisch... Breite: Höhe: Gitternetzlinien Ansicht Drucken Überschriften Ansicht Drucken

NZ35 N 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269

Tiefe des Tiefenrausches

Tiefe in Metern

Tiefe des Tiefenrausches
Standardabweichung

Tiefe des Tiefenrausches	41.6
Standardabweichung	12.4

Anzahl Reihe 1

min	8.0
quartile 25%	35
median	40
quartile 75%	45
max	84

Zahl

1	5.7
2	7.3
3	16.9
4	11.3
5	8.9
6	12.1
7	18.6
8	12.9
9	3.2
10	3.2

Einschätzung der Beeinflussung des eigenen Verhaltens durch den Tiefenrausch

Prozent der Befragten

1	5.7
2	7.3
3	16.9
4	11.3
5	8.9
6	12.1
7	18.6
8	12.9
9	3.2
10	3.2

Einschätzung

Mittelwert 5.27
sw 2.38

Sheet1 Tabelle1 Tabelle2 Tabelle3

Bereit 116%

Interview Experten Tiefenrausch:

- **In welcher Häufigkeit erleben/bekommen Sie als Experte mit, dass Tauchschüler und Tauchclubmitglieder einen Tiefenrausch verspüren?**

MM: «Vor allem bei Leuten, die nicht regelmässig tiefere Tauchgänge machen, nicht viel Kaltwassererfahrung haben oder noch generell zu wenig Erfahrung im Umgang mit Stickstoffnarkose haben.»

Anonym: «Tauchschüler: Je nach Ausbildung wird dies simuliert und ist Bestandteil der Ausbildung ab Pro Level.

Tauchclubmitglieder: Nach meiner Erfahrung hatte bereits mindestens jeder dritte Taucher Anzeichen eines Tiefenrausches.»

FD: «Ich selber hatte in 30 Jahren einen, wollte einen Fisch füttern und wäre lieber dem angenehmen Gefühl gefolgt statt umgedreht. Meine Freundin zog an meiner Flosse und ich stieg mit ihr etwas nach oben und das Gefühl von frei sein war weg...

Dann war ich mit einer anderen Frau im Wasser, als sie einen auf 28m hatte, sie war weggetreten und merkte erst auf ca. 23m wieder, dass sie was verpasst hat. Der Aufstieg machte sie nicht mit, ich habe sie nach oben gebracht.

Und bei einem Kollegen auf 37m schaute er 3x auf die Konsole und wusste noch immer nicht, wie viel Luft er hatte. Wir verliessen direkt die Tiefe und auf 27m klappte es wieder, auch da war dann der Tauchgang zu Ende und wir tauchten aus.»

AD: «Eher selten, da die Anfänger Tauchschüler schon gar nicht in diesen Tiefenbereich kommen und sehr viele Übungen der anderen Kurse sich im 10-18m Bereich abgehalten werden, genau um das zu verhindern. Bei den fortgeschrittenen Tauchern kann es schon vorkommen, da ja div. Faktoren mitspielen und diese auch tiefer tauchen.»

- **Von welcher Bedeutung schätzen Sie dabei die Brevetierung und Erfahrung des betroffenen Tauchers ein?**

MM: «Brevetierung ist für die Versicherung wichtig. Aber regelmässiges Training und Erfahrung (Selbstüberschätzung) haben einen grossen Einfluss. Und nicht zuletzt ist die Ausrüstung auch sehr oft verantwortlich, wenn Probleme aufkommen, dass der Taucher unter Einfluss von Stickstoffnarkose zu langsam, falsch oder gar nicht mehr reagiert, was immer wieder zu Unfällen führt.»

Anonym: «Die Brevetierung ist für mich zu vernachlässigen, viel mehr erachte ich als wichtig die entscheidenden Kriterien: Eigene körperliche Fitness und Verfassung und die richtige Einschätzung der eigenen Fähigkeiten.»

FD: «Anfänger tauchen nur bis 18m, daher kann das nicht passieren, es braucht eine gewisse Tiefe, um einen Tiefenrausch zu bekommen. Erfahrung hat nichts damit zu tun, es hängt an der Tagesform und wie tief man geht (Alkohol, Medis, Mens, Rauchen, Drogen, psychische Verfassung...).»

AD: «Die meisten Unfälle haben wenig mit der Brevetierung resp. der Erfahrung zu tun, eher mit der Selbstüberschätzung und sich nicht eingestehen, dass es 'heute kein guter Tag ist um zu Tauchen'. Problemfaktor Nr. 1 ist immer der Mensch...»

- **Nach Ihrer Einschätzung, wie schwerwiegend kann ein Tiefenrausch sein? Wie schätzen Sie die daraus resultierenden Gefahren ein?**

MM: «Kann fatale Folgen haben. Es kann vieles vermieden werden, wenn man mit Tauchpartnern, die entsprechende Erfahrung mitbringen, taucht und nicht zu schnell zu tief taucht als unerfahrener Tieftaucher.»

Anonym: «Absolut schwerwiegend, da Lebensgefahr besteht bei einem Tiefenrausch.»

FD: «Regel 1: Tauche nie alleine und dann, wenn einer der beiden einen hat, muss der andere eingreifen, damit sie zusammen die Tiefe verlassen. Die Gefahr besteht darin, dass man meint man müsse z.B. dem Fisch dort unten helfen und steigt weiter ab und verliert die Besinnung und ist dann verloren.»

AD: «Der Tiefenrausch ist ja mit einem Alkoholrausch zu vergleichen (er kommt langsam). Irgendwann spürt man sich selbst nicht mehr, mit dem Resultat unkontrollierter Handlungen, welche dann zu Unfällen führen könnten.»

- **Ist der Tiefenrausch Ihrer Ansicht nach ein Phänomen, welches in der Tauchszene unterschätzt, respektive fehleingeschätzt wird? Wenn ja, liegt das an fehlendem Wissen?**

MM: «Im Kreise der Sporttaucherei (bis 40m Nullzeittauchen mit Luft) wird meiner Meinung nach die Problematik von Stickstoffnarkose verharmlost und unterschätzt.

Wenn man im Technischen Tauchen die Möglichkeiten kennt, tiefer zu tauchen mit weniger Einfluss von Stickstoffnarkose, überlegt man sich zweimal, auf welche Tiefe ich gehen möchte und ob der Einsatz von Mischgas von den Gaskosten zum Verhältnis zum Tauchgang steht.

Man kann tiefe Tauchgänge im 3stelligen Bereich fürs Training gut auch flacher simulieren und mit Luft tauchen und so den Umgang und die Gewöhnung an den Tiefenrausch erarbeiten.

Für mich muss es immer ein Ziel geben, warum ich tief tauche.»

Anonym: «Ja»

FD: «Ich denke bei Ferientauchern eher, weil die Sicht gut und das Wasser warm ist. Hier im See wird es genauer beobachtet, da man sich viel bewusster wahrnimmt, man ist auch nicht durch zu viel abgelenkt und reflektiert eher auf sich selber oder ist gar nicht so tief (Temperatur).»

AD: «Ja und ja, es wird leider in der Ausbildung zu wenig darüber erzählt, erklärt und die Konsequenzen aufgezeigt, sowie man reagieren soll, wenn das beim Partner auftritt.»

9.4 Arbeitsjournal

Datum	Aktivität	Dauer in h
Aug/ Sept 2020	Ideenfindung Maturaarbeit	3
20.08.20	Informationsnachmittag der Fachschaften	1.5
KW 36 - 38	Individuelle Gespräche mit Lehrpersonen	0.5
08.09.20	Gespräch mit Taucharzt Dr. Gelsomino	1
15.09.20	Besprechungsnachmittag für Betreuungsperson	0.5
12.11.20	Modul 11 Wissenschaftliches Schreiben in Naturwissenschaften	1.5
19.11.20	Modul 11 Wissenschaftliches Schreiben in Naturwissenschaften	1.5
10.12.20	Modul 13 Interviews und Umfragen	1.5
17.12.20	Modul 13 Interviews und Umfragen	1.5
12.01.21	Besprechung mit CL bezüglich Ideen und Projektvereinbarung	1
12.-16.01.21	Erstellen Projektvereinbarung	4
18.01.21	Besprechung Projektvereinbarung mit CL	0.5
19.01.21	Abgabe Projektvereinbarung	
08.03.21	Besprechung mit CL	0.5
10.03.21	Grobes Verfassen des Inhaltsverzeichnis	0.5
12.03.21	Verfassen Vorwort	1
29.03.21	Verfassen Entwurf Umfrage	1.5
09.04.21	Einlesen in die Thematik	2
16.04.21	Besprechung mit CL	0.75
20.04.21	Überarbeitung Umfrage	1
08.05.21	Strukturierung und Ansätze zum theoretischen Hintergrund	2
10.05.21	Überarbeitung des Inhaltsverzeichnis	0.5
11.05.21	Zwischenevaluation mit CL und SS	0.5
30.05.21	Literaturstudium	1
31.05.21	Literaturstudium	1
02.06.21	Bücher gesucht	1
10.06.21	Umfrage erstellt auf MS Forms	2.5
14.06.21	Besprechung mit CL	0.5
15.06.21	Überarbeitung Umfrage	0.5
16.06.21	Fachliteratur organisieren und abholen	1
20.06.21	Lesen Fachliteratur	1
21.06.21	Interview Termin Absprache Fallbeispiel	0.5
24.06.21	Lesen Fachliteratur	1
28.06.21	Besprechung MA Woche mit CL	0.5
28.06.21	Tauchschnellen und Clubs gesucht	2
28.06.21	Anfragen Umfrage versendet	2
29.06.21	Anfragen Umfrage versendet	2

29.06.21	Rückmeldungen bearbeitet	2
29.06.21	Literaturstudium	1.5
30.06.21	Literaturstudium	1.5
30.06.21	Rückmeldungen bearbeitet	1
30.06.21	Termin Tauchschule Funny Diving	1
30.06.21	Anfangen Schreiben von Physikalischem Hintergrund	1.5
01.07.21	Bearbeitung Rückmeldungen	1
01.07.21	Organisatorische Aufgaben	1
01.07.21	Schreiben Physikalischer Hintergrund	3
02.07.21	Schreiben Physikalischer Hintergrund	3
02.07.21	Organisatorische Aufgaben	1
02.07.21	Besprechung mit CL	0.5
05.07.21	Schreiben Physikalischer Hintergrund	2
06.07.21	Interview Fragen bearbeiten	1.5
06.07.21	Schreiben Anatomie	1
08.07.21	Schreiben Anatomie	1.5
10.07.21	Schreiben Tiefenrausch	2
11.07.21	Einlesen Dekompressionskrankheit	2
12.07.21	Interviewvorbereitungen	2
12.07.21	Schreiben Tiefenrausch	2
13.07.21	Interview	1.5
14.07.21	Interview abschreiben	2
26.07.21	Interview abschreiben	4
02.08.21	Schreiben Tiefenrausch	2
04.08.21	Schreiben Anatomie	1
05.08.21	Vollständige Ausformulierung Hypothesen und Fragestellung	1
13.08.21	Schreiben Tiefenrausch	1
16.08.21	Überarbeitung vorhandene Theorie	1
17.08.21	Besprechung mit CL	0.5
20.08.21	Schreiben Chemie	1.5
22.08.21	Schreiben Chemie	2
23.08.21	Schreiben Chemie	1
24.08.21	Schreiben Chemie	1
26.08.21	Schreiben Chemie	1
31.08.21	Schreiben Toxizität	1.5
31.08.21	Besprechung mit CL	0.5
01.09.21	Schreiben Toxizität	2
02.09.21	Schreiben Toxizität	1
03.09.21	Beenden Theorie	1.5
03.09.21	Überarbeiten Theorie	1
07.09.21	Überarbeiten Theorie	1
09.09.21	Besprechung mit CL	0.5
10.09.21	Datenauswertung	1.5
11.09.21	Datenauswertung	3

12.09.21	Datenauswertung	2
13.09.21	Datenauswertung	2
14.09.21	Datenauswertung	4
15.09.21	Schreiben Methode und Ergebnisse	2
16.09.21	Schreiben Methode und Ergebnisse	2.5
16.09.21	Besprechung mit CL	0.5
17.09.21	Schreiben Methode und Ergebnisse	2
18.09.21	Schreiben Methode und Ergebnisse	2
19.09.21	Schreiben Methode und Ergebnisse	1
19.09.21	Schreiben Interpretation	1
20.09.21	Schreiben Interpretation	1.5
21.09.21	Schreiben Interpretation	2.5
22.09.21	Schreiben Interpretation	2
22.09.21	Besprechung mit CL	1
23.09.21	Danksagung	0.5
26.09.21	Abstract	1.5
29.09.21	Fussnoten und Theorie in Anhang	1.5
03.10.21	Überarbeitungen	1
04.10.21	Quellenangaben	1
04.10.21	Überarbeitungen	1.5
05.10.21	Beschriftungen überarbeiten	1
06.10.21	Grafiken überarbeiten	1.5
07.10.21	Überarbeitungen	2
08.10.21	Korrigieren	3.5
09.10.21	Korrigieren	1
10.10.21	Titel und Titelbild	0.25
10.10.21	Querverlinkungen	0.5
10.10.21	Formatierung	0.5
10.-11.10.21	Bearbeiten des Anhangs	2
11.10.21	Besprechung mit CL	0.25
11.10.21	Fertigstellen des Anhangs	1
12.10.21	Endgültige Formatierung	0.5
12.10.21	Silbentrennung und Abschluss der Arbeit	0.5
12.10.21	Erstellen verschiedene Versionen	0.75
13.10.21	Drucken und Binden	2
18.10.21	Abgabe	
Zeit total:		161

Tabelle 9: Arbeitsjournal

9.5 Besprechungsprotokolle

Datum: 12/01/2021

Traktanden:

- Nächste Schritte Maturaarbeit
- Erstellung Projektvereinbarung
- Inhalt Maturaarbeit
- Aufbau Maturaarbeit
- Zeitplan
- Korreferent/in
- Protokoll
- Vereinbarungen
- Diverses

Besprochen wurde die nächste Phase der Maturaarbeit im Allgemeinen, sowie die Erstellung der Projektvereinbarung. Diese soll von MSO bis spätestens Freitag, 15/01/2021 formuliert und CL zur Überarbeitung gesendet werden, danach muss sie von MSO gegebenenfalls nochmals überarbeitet werden. Abzugeben ist die Projektvereinbarung bis spätestens Montag 18/01/2021.

Betreffend den Inhalt der Maturaarbeit konnten grob 2 Unterthemen formuliert werden, dabei muss sich MSO bis Ende KW02 für eines davon entscheiden. Es soll entweder der Tiefenrausch beim Gerätetauchen oder Druckverletzungen/Barotraumas in Verbindung mit dem Gerätetauchen untersucht und erforscht werden.

Es soll die gleiche Zitierart wie im Modul 11 unterrichtet wurde verwendet werden, Quellenangaben sind empfehlenerweise fortlaufend zu machen. Ebenso sollte zeitnah ein grobes Inhaltsverzeichnis erstellt werden, welches zur Orientation sowie Zubehör Erstellen der Arbeit fortlaufend bearbeitet und ergänzt werden soll.

Einen detaillierten Zeitplan wird nach Abgabe der Projektvereinbarung von MSO erstellt, vorgesehen ist eine Besprechung mit CL alle 14 Tage.

Betreffend die Korreferenz erkundigt sich CL im Kollegium und nimmt mit MSO Rücksprache, damit MSO anschliessend die Lehrperson direkt anfragen kann.

Die Besprechungen sollen von MSO protokolliert und bis zum darauffolgenden Tag in dieses Word-Dokument eingetragen und CL zur Signatur geteilt/gesendet werden.

Zu erledigen: Bis zur nächsten Besprechung muss MSO sich für ein Thema entschieden haben und die Projektvereinbarung erstellt haben. Die überarbeitete Projektvereinbarung muss der Schulleitung zugestellt werden.

Datum: 16/04/2021

Traktanden:

- Umfrage
- Interviewanfrage
- Diverses

Besprochen wurde der Entwurf der Umfrage, welche von MSO verfasst wurde. CL gab einige Verbesserungsvorschläge und Hinweise, welche von MSO nun angepasst werden können. Es wurde empfohlen, die Umfrage einfach und übersichtlich zu strukturieren und dafür beispielsweise eine Seite wie SurveyMonkey zu verwenden.

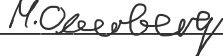
Der Entwurf für die Interviewanfragen wurde kurz besprochen und für gut befunden.

Betreffend die Strukturierung der MA wurden noch einige kleinere Details besprochen, welche nun fortlaufend angepasst werden können. MSO soll sich weiter mit der Informationsgewinnung beschäftigen und am theoretischen Hintergrund arbeiten.

Es wurde von CL darum gebeten, die erarbeiteten Texte/Dokumente, etc. jeweils vor der nächsten Besprechung mit Ihm zu teilen.

Nächste Besprechung: 07/05/2021 – 12:30 Uhr

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 17/04/2021 

Christian Lischer (CL): 

Datum: 11/05/2021 Zwischenevaluation mit Betreuungsperson und Korreferenz

Traktanden:

- Zwischenstand und Zeitplan
- Fachliteratur

Es wurde der allgemeine Stand der Arbeit besprochen und wie es MSO mit dem Arbeitsprozess so ergeht. Das Grundgerüst der Arbeit steht soweit und kann nun fortlaufend bearbeitet und ergänzt werden. Die nächsten Schritte wurden besprochen und diskutiert.

Aus gesundheitlichen Gründen und einer Knieoperation kann MSO zurzeit nur limitiert an der Maturaarbeit arbeiten. Jedoch lässt der Zeitplan noch genug Spielraum, sodass MSO noch nicht in extremen Zeitdruck kommt. Jedoch sollen die nächsten Schritte möglichst bald eingeleitet werden, um zukünftigen Stress zu vermeiden. Dabei soll der Zeitplan nicht unterschätzt werden, MSO soll sich aber auch gut erholen.

Betreffend Fachliteratur wurde MSO geraten, sich online bei GGG und der Bibliothek der Universität Basel zu informieren und erkundigen. Diese Institutionen sind erfahrungsgemäss sehr zuverlässig für Fachliteratur zur Informationsgewinnung.

Das Testatheft soll bei Gelegenheit bei CL und SS vorbeigebracht und signiert werden.

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): M/05/21 M.OverbergChristian Lischer (CL): Ch. Lischer

Datum: 14/06/2021

Traktanden:

- Umfrage besprechen
- Verbesserungsvorschläge Umfrage
- Fachliteratur
- Diverses

Die erstellte Umfrage wurde besprochen und evaluiert. Der genaue Fokus wurde nochmals diskutiert und genauer definiert. Einige Punkte sollen neu umformuliert oder abgeändert werden. Die fertige Umfrage kann nach abschliessender Beurteilung dann an Tauchclubs und Tauchforen gesendet werden.


Betreffend der Fachliteratur soll sich MSO bis zur nächsten Besprechung organisieren.

MSO wurde erneut daran erinnert, dass dies eine Maturaarbeit und keine Masterarbeit ist. Hohe Ansprüche sind zwar gut, jedoch sollte man den Rahmen nicht aus den Augen verlieren.

Nächste Besprechung: 28/06/2021 – 13:30 Uhr

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 15/06/21



Christian Lischer (CL):



Datum: 28/06/2021

Traktanden:

- Umfrage
- Zeitplan MA Woche

MSO und CL haben nochmals die überarbeitete Umfrage besprochen und sie wurde von CL als gut befunden. Sie kann nun an Tauchschulen, Tauchclubs und Tauchforen versendet werden.

Das weitere Vorgehen der Maturaarbeits-Woche wurde besprochen. MSO soll sich mit den Anfragen zur Umfrage und dem Versenden des Links beschäftigen. Weiter soll an der Theorie weitergearbeitet werden, um möglichst bald mit dem eigentlichen Schreiben der Arbeit anzufangen.

Nächste Besprechung: noch abzumachen (Ende der MA Woche)

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO) 28/06/21 M.Overberg

Christian Lischer (CL): 27.21 C. Lischer

Datum: 02/07/2021

Traktanden:

- Ergebnisse MA Woche

MSO und CL haben besprochen, welche Fortschritte MSO während der MA Woche gemacht hat. Diese waren zufriedenstellend und MSO soll so weiterfahren.

Nächste Besprechung: Nach den Sommerferien

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 03/07/21 M. Overberg

Christian Lischer (CL): 31.8.21 Ch. Lischer

Datum: 17/08/2021

Traktanden:

- Fortschritte
- Interview
- Umfrage
- Zeitplan

MSO und CL haben die Fortschritte der Arbeit über die Sommerferien besprochen. Diese sind gut und MSO soll weiter daran arbeiten.

Das von MSO gehaltene Interview wurde kurz thematisiert, dieses muss nun gekürzt werden und die entsprechenden Ausschnitte für die eigentliche Arbeit bearbeitet werden.

Die Anzahl Rückmeldungen auf die Umfrage ist hervorragend, diese kann nun gestoppt werden und anschliessend mit der Auswertung begonnen werden.

Betreffend den Zeitplan soll MSO konsequent weiterarbeiten, sie liegt aber noch gut im Zeitplan. Der theoretische Hintergrund soll weiterbearbeitet werden, MSO soll nun endgültig mit dem Schreiben der Arbeit beginnen.

Nächste Besprechung: 31/09/2021 - 13:30 Uhr

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 18/09/21 M.Overberg

Christian Lischer (CL): 31-09-21 Ch. Lischer

Datum: 31/08/2021

Traktanden:

- Fortschritte
- Weiteres Vorgehen

MSO und CL haben die Fortschritte der Arbeit besprochen. Dabei wurde diskutiert, dass gute Ansätze vorhanden seien, welche nun weiter ausgeführt werden können und sollen.

Ebenfalls wurde das weitere Vorgehen evaluiert. MSO soll die Theorie weiterbearbeiten und möglichst bald beenden (bestenfalls bis nächste Woche). Zudem soll nebenbei an der Auswertung der Daten gearbeitet werden.

Nächste Besprechung: 09/09/2021 - 12:30 Uhr

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 31/09/21 M. Overberg

Christian Lischer (CL): 16.9.21 C. Lischer

Datum: 09/09/2021

Traktanden:

- Fortschritte
- Besprechung einiger Unklarheiten
- Umfang der Arbeit
- Weiteres Vorgehen

MSO und CL haben kurz die Fortschritte der letzten 10 Tage evaluiert. Diese seien durchaus positiv und MSO soll weiter so arbeiten. Die verfassten Fragestellungen und Hypothesen sollen an CL für ein Feedback gesendet werden.

Betreffend die Formulierung von Personen war MSO sich unsicher. CL meinte, Personen sollen mit Gendersternchen ausgeschrieben werden; beispielsweise Taucher*innen.

MSO wird vor der Abgabe der Arbeit deutlich kürzen müssen. Wiederholungen sollen aus jeden Fall vermieden werden und Informationen so kurz wie (sinnvollerweise) möglich gehalten werden. 10% mehr Umfang sind okay, jedoch nicht zu viel. Daher wurde von MSO entschieden und von CL bekräftigt, dass es sinnvoll ist, den Teil der Dekompressionskrankheit zu streichen und sich völlig auf den Tiefenrausch und die dazu erworbenen Daten zu fokussieren. So soll vermieden werden, dass beide Themen nur grob oder ungenau behandelt werden.

MSO soll weiter an der Auswertung und Erarbeitung der Maturaarbeit arbeiten. Das Ziel ist es, bis zum 22/09 mit dem eigentlichen schreiben der Arbeit fertig zu sein.

Nächste Besprechung: 16/09/2021 - 12:30

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO) 09/09/21 M. Overberg

Christian Lischer (CL): 16.9.21 C. Lischer

Datum: 16/09/2021

Traktanden:

- Datenauswertung
- Darstellung von Ergebnissen
- Schreiben der Diskussion/Interpretation
- Layout

MSO und CL haben die Datenauswertung und dazugehörigen Abbildungen analysiert und besprochen. Hierbei trat ein Problem mit den Boxplots auf, welches noch nicht behoben werden konnte.

MSO hat den bereits verfassten Teil der Auswertung gezeigt und dies wurde von CL für gut geheissen. Betreffend die Darstellung muss dann noch die Grösse der Abbildungen entschieden werden.

MSO soll bald mit dem Interpretieren der Daten, respektive der Diskussion anfangen, das kann jedoch auch parallel zu den Ergebnissen gemacht werden, wenn man sich sowieso schon damit beschäftigt. CL wird die Inhaber von Funnydiving kontaktieren, da MSO nach einer Woche noch immer nichts von ihnen gehört hat.

Betreffend Layout der Arbeit wird sich CL noch entscheiden, ob er die verfasste Arbeit gemäss den vorgegebenen Eigenschaften (Arial, 11, 1,5 Abstand), oder in einer anderen Form/Schriftart vorliegen haben will. MSO soll das Layout dann anpassen, wenn die Arbeit vollendet ist. Da die Umfrageergebnisse von MSO in einer riesigen Excel Datei sind, wird es nicht möglich sein diese in den Anhang zu nehmen. Dafür muss noch eine Lösung gefunden werden (evt Link oder ähnliches). MSO soll beachten, dass bei Kreisdiagrammen die Farben, respektive Abschnitte auch in schwarz-weiss einigermaßen erkennbar sind.

Nächste Besprechung: 22/09/2021 - 12:30 Uhr

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 16/09/21 M.Overberg

Christian Lischer (CL): 16.9.21 Ch. Lischer

Datum: 22/09/2021

Traktanden:

- Daten
- Querverweise
- Abbildungen und Beschriftungen
- Quellen
- Anhang und Fussnoten
- Interview
- Titel

MSO und CL haben erneut die Daten und Auswertung besprochen. Die Auswertung sei gut und sehe vielversprechend aus, jedoch soll bei den Balkendiagrammen zu den Einschätzungen die Werte prozentual und nicht als absolute Werte angegeben werden. Die Boxplots sollen weggelassen werden (höchstens zusammen als visuelle Darstellung mit Tabelle in den Anhang). Die Skala soll dabei von 1-10 gehen, auch wenn 0-11 visuell ansprechender wäre.

Die Abbildungen sollen mit Querverweisen in den Text eingegliedert werden.

Für Tabellen und Abbildungen sollen verschiedene Verzeichnisse geführt werden. In der Auswertung soll der Titel der Abbildung die gestellte Frage sein, in die Abbildungsbeschriftung gehört zusätzlich noch die Anzahl Probanden und die Skala (1-10) stehen. In der Methode muss nicht zwingend die Frage der Titel sein.

Quellen sollen wie in der Wegleitung gehandhabt werden. Im Text kann die Form (Atemgas Wikipedia, abgerufen dd/mm/yy) oder (König et al. 2007) verwendet werden. Im Verzeichnis sind Datum des Besuches wichtig (bei Internetquellen).

Theorie darf/soll in den Anhang verschoben und mit Fussnoten darauf verwiesen werden. Dies kann Anatomie, Physiologie, Kompositionen, gewisse Physik und Chemie, Toxikologie usw. sein. Auch gewisse zusätzliche Abbildungen und Auswertungen dürfen in den Anhang gehängt werden.

Das Interview soll tabellarisch in den Ergebnissen dargestellt werden und eine gekürzte Version sowie die Originalversion zu den Originaldokumenten hinzugefügt werden. Die Interviewpartner sollen mit Initialen in der Methode erwähnt werden.

MSO soll und darf einen neuen/passenderen Titel und Untertitel, sowie Versuchsziel formulieren, ohne eine neue Projektvereinbarung ausfüllen zu müssen.

Für die Excel Dateien muss noch immer eine Lösung gefunden werden.

Nächste Besprechung: online, Zeitpunkt noch zu vereinbaren

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 22/09/21 M.Overberg

Christian Lischer (CL): Ch. Lischer

Datum: 11/10/2021

Traktanden:

- Formeln
- Querverlinkung in Interpretation
- Abkürzungen
- Excel Tabellen
- Umfang

MSO und CL haben die Darstellung der Formeln besprochen, diese können so gelassen werden.

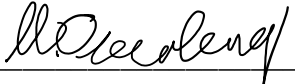
Querverbindungen in der Interpretation sind nicht zwingend nötig, können jedoch bei speziell prägnanten Stellen/Aussagen gemacht werden.

Für Einheiten und chemische Elemente muss kein Abkürzungsverzeichnis geführt werden.

MSO soll versuchen Fotos von den wichtigsten Teilen der Excel-Mappe in die Arbeit einzugliedern. Für die vollständige Mappe kann versucht werden ein Link zu erstellen und in die Arbeit einzugliedern.

MSO darf die Arbeit in diesem (vollen) Umfang abgeben, die hohe Anzahl Zeichen wird an sich keinen Abzug geben. Sollten jedoch irrelevante oder überflüssige Abschnitte/ Paragraphe in diesem Teil vorhanden sein, können dafür Punkte abgezogen werden. MSO muss sich nun entscheiden, ob sie Teile streicht, welche dann gegebenenfalls fehlen, oder ob sie die Arbeit so belässt und riskiert überflüssige Informationen in der Arbeit zu lassen.

Datum & Unterschrift:

Marjolein S. Overberg (MSO): 11/10/21 

Christian Lischer (CL): 