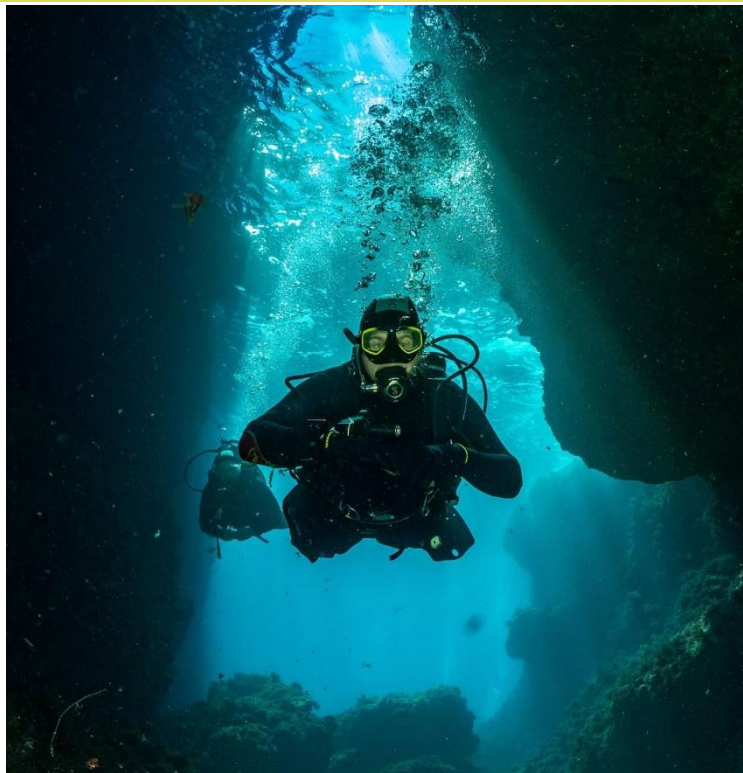


# Tauchunfall auf der Notfallstation, und jetzt?



**Julien Renier**

**NDS HF Notfall**

**Kurs H 22**

**Spital Davos AG, interdisziplinäre Notfallstation**

**Datum: 07.05.2024**

## **Zusammenfassung**

Als Taucher, dessen Bruder einen Tauchunfall erlitten hat, liegt mir die Qualität der Behandlung einer Dekompressionskrankheit (DCS) besonders am Herzen. Deswegen ist das Ziel dieser Diplomarbeit einen Überblick über die Spezifität der Behandlung einer DCS auf einer Notfallstation zu erlangen.

Dekompressionskrankheiten sind in der Schweiz selten und erfordern eine hochspezialisierte und zeitnahe Behandlung. Die definitive Versorgung erfolgt nur in einem der drei Schweizer hyperbaren Zentren (Lausanne, Basel oder Mendrisio), aber aufgrund der hohen Anzahl von aktiven Tauchern in der Schweiz kann jede Notfallstation mit einer DCS konfrontiert werden. Das schnelle Erkennen durch das Notfallpersonal und Kenntnisse über die Behandlung sind entscheidend, da das Outcome direkt von der Qualität der Erstversorgung in den peripheren Spitälern beeinflusst wird.

Die Diagnose einer DCS ist eine reine klinische Diagnose, die durch die vielseitigen, unspezifischen Symptome sowie die fehlende Erfahrung des Notfallpersonals erschwert wird. Dadurch können Verzögerungen bei der Verlegung in eine hyperbare Kammer aufgrund überflüssiger Untersuchungen auftreten, was leider negative Auswirkungen für den Patienten hat.

Die ununterbrochene Applikation von 100% Sauerstoff über eine Sauerstoffmaske mit Reservoir, sowie die Infusion von 0.5l bis 1.0l/h glukosefreier, isotonischer Lösung gelten als Standardmassnahmen bis zur Ankunft in einer hyperbaren Kammer. In der Schweiz werden keine weiteren Massnahmen oder Medikamente für die Behandlung einer DCS auf einer Notfallstation empfohlen.

Die Verlegung in ein hyperbares Zentrum soll so schnell wie möglich mit Hilfe der REGA koordiniert und durchgeführt werden.

Um die Erstversorgung von DCS in peripheren Notfallstationen zu vereinfachen, wurden in dieser Arbeit die Schweizer Richtlinien zur Behandlung von DCS sowie die Kontaktdaten der hyperbaren Zentren auf einem übersichtlichen Merkblatt zusammengeführt.

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit das generische Maskulinum verwandt. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich, sofern nicht anders kenntlich gemacht, auf alle Geschlechter.

## Inhaltsverzeichnis

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Ausgangslage.....	1
1.2	Fragestellung .....	2
1.3	Abgrenzung .....	2
1.4	Physik.....	2
1.5	Physiologie Tauchen .....	2
1.6	Definitionen .....	3
1.6.1	Tauchunfall.....	3
1.6.2	Dekompressionskrankheit (DCS) .....	3
1.6.3	Arterielle Gasembolie (AGE).....	3
1.6.4	Barotrauma .....	3
1.7	Dekompressionskrankheit.....	3
1.7.1	Ätiologie und Pathophysiologie .....	3
1.7.2	Symptomatik .....	4
1.7.3	Typen .....	5
1.7.4	Diagnostik .....	5
1.7.5	Überwachung.....	6
1.7.6	Weitere Massnahmen.....	7
1.7.7	Mögliche assoziierte Pathologien.....	7
2	Literaturrecherche und Analyse .....	7
2.1	Therapien.....	7
2.1.1	Normobarer Sauerstoff (NBO).....	7
2.1.2	Flüssigkeit .....	7
2.1.3	Antikoagulation .....	8
2.1.4	NSAR.....	8
2.1.5	Nitroglycerin .....	9
2.1.6	Andere Therapien .....	9
2.1.7	Symptomatische Therapie .....	9
2.1.8	Advanced Life Support (ALS) Medikation .....	9
2.1.9	Definitive Versorgung.....	10
2.2	Zusammenfassung Therapien.....	11
2.3	Verlegung.....	11
2.3.1	Hyperbare Zentren in der Schweiz.....	11
2.3.2	Transport .....	11
2.3.3	Wichtige Informationen für den Tauchmediziner.....	11
3	Beantwortung der Fragestellung .....	12
3.1	Welche notfallmedizinische Maßnahmen sollen bei einer Dekompressionskrankheit getroffen werden ? .....	12
3.1.1	Pflegerische Maßnahmen .....	12
3.1.2	Untersuchungen .....	12
3.1.3	Medikation.....	12
3.1.4	Organisation der Verlegung .....	13
3.2	Wie kann ich diese Maßnahmen in der Notfallstation des Spitals Davos einsetzen ?	13
3.2.1	Merkblatt Dekompressionskrankheit.....	14
3.3	Kritische Auseinandersetzung.....	15
	Literaturverzeichnis .....	16
	Abbildungsverzeichnis.....	18
	Anhang A: Abkürzungsverzeichnis	

Anhang B: Physik

Druck

Diffusion

Boyle und Mariotte Gesetze

Fick'sches Diffusionsgesetz

Henry's Gesetz

Anhang C: US Navy Treatment table

Anhang D: Neurocheck für Taucher

Anhang E: Kontaktdaten hyperbare Zentren in der Schweiz

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Seit sechs Jahren arbeite ich als Pflegefachmann auf der Notfallstation des Spitals Davos, einem kleinen, in den Bergen gelegenen, peripheren Spital. Bedingt durch die geographische Lage müssen wir, trotz begrenzten Ressourcen, zahlreiche Pathologien erstversorgen können, bis eine Verlegung in ein Zentrumsspital (Kantonsspital Graubünden/Chur) organisiert werden kann. Die Ambulanz benötigt ca. eine Stunde, um ins Zielspital zu gelangen. Eine weniger zeitaufwändige Verlegung durch REGA ist wetterbedingt nicht immer möglich.

Parallel zu meiner Arbeit habe ich seit 2019 mehrere Tauchbrevets (Stufe I bis V) erlangt. Seitdem habe ich einige hundert Tauchgänge absolviert und mich als Rescue Diver und technischer Taucher weitergebildet. Durch diese Weiterbildungen bin ich immer wieder mit dem Thema Dekompressionskrankheit in Berührung gekommen. Die in den Kursen gegebenen Erklärungen eignen sich mehr für nicht medizinisch ausgebildete Personen. Ich möchte durch diese Arbeit mein Verständnis für dieses Phänomen vertiefen.

Die weiteren Fakten zeigen, dass jedes Spital in der Schweiz mit einem Tauchunfall konfrontiert werden könnte, ohne dass die benötigte Infrastruktur oder entsprechendes Wissen vorhanden ist:

- Laut der Fédération suisse des sports subaquatiques (FSSS) und der Scuba schools international (SSI) zählt die Schweiz über 1500 Seen und ca. 250'000 brevetierte Taucher. (Burkhardt, 2015; EDA Präsenz Schweiz, 2022)
- Jedes Spital ist maximal 20 Minuten von einem See entfernt.
- Spitäler mit 24/7 einsetzbaren hyperbaren Kammern und Tauchmedizinern sind in der Schweiz extrem selten.
- Tauchunfälle sind in der Schweiz eher eine Rarität (36 Unfälle in 2017) und deswegen haben nur die wenigsten Notfallpflegefachpersonen Erfahrung mit der Behandlung. (Europe & Plongée, 2018)

Letzten Sommer war ich mit meinem Bruder auf Malta in den Tauchferien. Zirka 30 Minuten nach dem Auftauchen unseres dritten Tauchgangs klagte mein Bruder plötzlich über Schwindel und Übelkeit. Die Symptome verstärkten sich im Verlauf, weshalb er zügig von uns (mit Privat Auto) in das nahe gelegene Spital Gozo gebracht wurde.

Auf der Notfallstation wurde mein Bruder im Schockraum betreut. Der Arzt erkannte die Dekompressionserkrankung sofort, sammelte die nötigen Informationen über unseren Tauchgang sowie den Unfall und nahm Kontakt mit den Tauchmedizinern auf. Zum Glück ist das Spital Gozo in Bezug auf Tauchunfälle sehr routiniert und mit einer hyperbaren Kammer ausgerüstet. Mein Bruder wurde innerhalb von 45 Minuten in die hyperbare Kammer gebracht.

Ich war durch die professionelle Betreuung, die sofortige Erkennung des Dekompressionsunfalls und die Schnelligkeit der Behandlung sehr beeindruckt.

Nach einer zweitägigen Hospitalisation und fünf Durchläufen (von insgesamt von 16 Stunden) in der hyperbaren Kammer, konnte mein Bruder ohne weitere Folgen entlassen werden.

Als ich meinen Bruder vom Spital Gozo abholte, habe ich mich gefragt, wie es bei uns im Spital Davos gelaufen wäre, hätte ein Tauchunfall dieser Art im Davoser See stattgefunden. Als ich diesen Unfall mit meinen Arbeitskollegen besprach, habe ich festgestellt, dass die Meisten von ihnen nicht wussten, wie die Vorgehensweise bei einem Tauchunfall ist.

Das Erkennen eines Dekompressionsunfalls ist manchmal schwierig und verzögert sich häufig durch unnötige, aufwendige Diagnostik, wodurch sich die ersten therapeutischen Massnahmen verzögern. Das stellt ein grosses Problem für das Outcome der Patienten dar. Der Unfall meines Bruders, die Unsicherheit meiner Kollegen über die Behandlung solcher Ereignisse und die vorangehenden Fakten, haben mich motiviert, mich in Rahmen dieser Diplomarbeit mit dem Thema intensiver zu beschäftigen.

## 1.2 Fragestellung

Ich möchte im Rahmen meiner Diplomarbeit die beiden folgenden Fragen beantworten:

- Welche notfallmedizinische Massnahmen sind bei einem Dekompressionsunfall bis zur Verlegung in ein hyperbares Zentrum zu treffen ?
- Wie kann ich diese Massnahmen in der Notfallstation des Spitals Davos einsetzen ?

## 1.3 Abgrenzung

- Diese Diplomarbeit wird sich nur auf die Behandlung von erwachsenen, verunfallten Freizeittauchern konzentrieren. Kinder werden ausgeschlossen.
- Apnoetaucher und Sauerstoffsaturationstaucher (Profi/Berufstaucher) werden in dieser Arbeit ebenfalls ausgeschlossen.
- Es werden nur Medikamente recherchiert, die in der Schweiz zugelassen sind. Medikamente zu Studienzwecken oder in der Schweiz nicht zugelassene Medikamente werden ausgeschlossen.
- Diese Arbeit konzentriert sich ausschliesslich auf Dekompressionsunfälle. Alle anderen Traumata, die durch die Praxis des Tauchens verursacht werden könnten, sind ausgeschlossen. Begleitpathologien werden erwähnt, aber nicht detailliert beschrieben.
- In dieser Arbeit wird die Pathophysiologie eines Dekompressionsunfalls nicht detailliert beschrieben.
- Die hyperbare Therapie wird erwähnt aber nicht detailliert beschrieben.

## 1.4 Physik

Um die Pathophysiologie und die Behandlung einer Dekompressionskrankheit zu verstehen, ist Wissen über folgende Physik-Konzepte erforderlich:

- der Druck
- die Diffusion
- Boyle und Mariotte Gesetz
- Fick'sches Diffusionsgesetz
- Henry's Gesetz

Für Leser, die sich mit diesen Konzepten nicht auskennen, befinden sich kurze Definitionen und Schemata im Anhang.

## 1.5 Physiologie Tauchen

Je tiefer der Taucher taucht, um so mehr Gas wird er pro Atemzug einatmen (dank des Boyle und Mariotte Gesetzes) und im Blut und Gewebe aufnehmen. Problematisch ist der Stickstoff, welcher nicht metabolisiert und sich im Gewebe sowie im venösen Blut einlagert (Henry's Gesetzes).

Dies führt zu einer Aufsättigung mit Stickstoff im Gewebe und Blut. Je grösser der Umgebungsdruck desto mehr Stickstoff kann im Gewebe eingelagert werden.

Beim Auftauchen sinkt dieser Umgebungsdruck und die verschiedenen Gewebe können nicht mehr gleichviel Stickstoff enthalten, als die selbe Gewebe unter größerem Druck. Dieser Stickstoff wandert dann vom Gewebe zurück ins Blut (dank des Diffusionsprinzips) und muss durch die Lungen abgeatmet werden. Unterschiedliche Gewebe haben für die Stickstoffentsättigung eine unterschiedliche Halbwertszeit (von ein paar Minuten bis zu mehreren Stunden).

Falls die Eliminationskapazität der Lungen überschritten wird oder die Aufstiegs geschwindigkeit zu groß ist, bilden sich Gasblasen in der Zirkulation und/oder im Gewebe. (Foret & Torres, 2018; Fandler, 2020; Töpfer, 2016)

## 1.6 Definitionen

### 1.6.1 Tauchunfall

„Ein Tauchunfall ist ein potenziell lebensbedrohliches oder gesundheitsschädigendes Ereignis, hervorgerufen durch Abfall des Umgebungsdrucks beim Tauchen oder aus sonstiger hyperbarer Atmosphäre mit oder ohne Tauchgerät.“ (Jüttner et al., 2022, S. 8)

Unter dieser Definition werden unterschiedliche Pathologien, die alle einen direkten Zusammenhang mit der Praxis des Tauchens haben, unter einem Namen zusammengefasst. Ich werde diese Pathologien noch einzeln definieren.

### 1.6.2 Dekompressionskrankheit (DCS)

Eine Dekompressionskrankheit ist eine Erkrankung mit Bildung von Gasblasen im Gewebe und/ oder in den Blutgefäßen, in Folge einer Reduktion des Umgebungsdrucks. Es betrifft Gerätetaucher, Piloten sowie hyperbare Arbeiter. (Clayton & Walklett, 2022)

### 1.6.3 Arterielle Gasembolie (AGE)

Eine arterielle Gasembolie, ist ein potentiell lebensbedrohliches Ereignis durch den Eintritt oder die Bildung von Gasblasen in der arteriellen Zirkulation, welche den Blutfluss beeinträchtigt und eine Organischämie verursacht. (Moon R., 2023)

### 1.6.4 Barotrauma

Ein Barotrauma ist ein Trauma, welches durch einen Über- oder Unterdruck verursacht wird, wenn ein gasgefüllter, körperlicher Raum seinen internen Druck mit dem Umgebungsdruck nicht ausgleichen kann. (Sadler, 2023)

## 1.7 Dekompressionskrankheit

### 1.7.1 Ätiologie und Pathophysiologie

Eine Dekompressionskrankheit kann durch zwei unterschiedliche Phänomene entstehen. Diese Phänomene werden in den nächsten Abschnitten beschrieben.

#### 1.7.1.1 Dekompressionskrankheit

Durch die Atmung von komprimiertem Gas (Luft, Nitrox, Trimix) während des Tauchgangs lagern die Taucher Inertgas (Stickstoff bei Luft- oder Nitroxatmen, bei Trimix wird auch Helium absorbiert) im Gewebe ein (Henry's Gesetz).

Während des Aufstiegs kann der Partialdruck des gelösten Gases im Gewebe den Umgebungsdruck überschreiten, was zur Bildung von Blasen in diesem Gewebe oder im sie durchströmenden Blut führt.

Diese venösen Gasblasen bleiben in der Regel asymptomatisch, weil sie klein bleiben und durch die Lungenkapillaren gefiltert und ausgeschieden werden können.

Bei einem Dekompressionsunfall wachsen diese Gasblasen zu schnell (Boyle's Gesetz) und können durch die Lungen nicht mehr eliminiert werden.

Diese Blasen führen durch zwei Mechanismen zu Schäden im Gewebe:

- Direkte Schäden (mechanische Schäden):
  - a. Wenn die Filterkapazität in den Lungen überschritten wird, erreichen diese Blasen den arteriellen Kreislauf und können arterielle Gasembolien bilden (siehe arterielle Gasembolie).
  - b. Die Blasenbildung im Gewebe kann zu mechanischen Schäden oder Störungen, sowie zu fokalen Blutungen führen. Die weiße Substanz des Rückenmarks ist diesbezüglich besonders sensibel.
  - c. Die Lungenkapillaren können durch diese große Menge an Blasen verletzt werden und diese Verletzungen können zu einem Lungenödem führen.



- Indirekte Schäden (Entzündungsreaktion):  
Intravaskuläre Blasen können auch durch entzündliche und thrombogene Reaktionen große Konsequenzen haben (Beeinträchtigung des Gefässtonus, Plasmaleck und Hypovolämie).

**Die Symptomatik wird durch die Menge und Lokalisation der Blasen definiert.**

Diese beiden Verletzungsmechanismen haben als Konsequenz, dass eine Dekompressionskrankheit innerhalb von 0 bis 72 Stunden nach dem Aufstieg auftreten und sich weiterentwickeln kann.

(Clayton & Walklett, 2022; Jüttner et al., 2022)

**1.7.1.2 Arterielle Gasembolie**

Eine arterielle Gasembolie kann bei einem Tauchunfall zwei unterschiedliche Ursachen haben: Erstens einen mechanischen Schaden an den Lungen und zweitens einen Eintritt von Gasblasen aus der venösen Zirkulation in die arterielle Zirkulation durch einen intrakardialen rechts/links Shunt.

- Mechanischer Schaden:  
Wenn komprimiertes Gas in den Lungen eingeschlossen wird (zB. durch Luft anhalten) und der Umgebungsdruck beim Aufstieg eines Tauchgangs sinkt, dehnt sich dieses Gas aus (Boyle's Gesetz). Diese Ausdehnung führt zum Bruch der Alveolarkapillarmembranen und zum Eintritt von Gas in das Lungegefässsystem.
- Intrakardialer Rechts/links Shunt:  
Durch einen Vorhofseptumdefekt oder ein persistierendes Foramen ovale (PFO) kann Blut aus der venösen Zirkulation direkt in die arterielle Zirkulation fließen. Dieses venöse Blut wird nicht durch die Lungenkapillaren gefiltert und enthält noch Gasblasen, die zu einer arteriellen Gasembolie führen.

Durch die arterielle Zirkulation erreichen die Gasblasen kleinlumige Kapillare. Wenn der Durchmesser der Blase grösser als der Durchmesser der Kapillare ist, entsteht eine Blockade, die zur einer distalen Ischämie führt.

**Die Symptomatik wird durch die Lokalisation der Embolie definiert.**

(Jüttner et al., 2022; Sadler, 2023)

**1.7.2 Symptomatik**

Die folgenden Symptome können entweder einzeln oder im Kombination auftreten und kurzfristig negativ evolviere.

Die Diagnostik eines Dekompressionsunfalls ist durch diese vielfältigen und unspezifischen Symptome erschwert.

Kutan	Muskuloskelettal	Neurologisch	Respiratorisch
Diffuser Juckreize Rötungen, Flecken, Exanthem, Schwellungen, subkutanes Emphysem	Gelenk- oder Gliederschmerzen	Parästhesien, Taubheitsgefühl, gürtelförmige Schmerzen, Lähmungen, Blasenentleerungsstörungen, Koordination- oder Gangstörungen, Seh-, Hör- oder Sprachstörungen, Amnesien, Schwindel (Dreh- oder Schwankschwindel), Übelkeit / Erbrechen, Bewusstseinsstörungen, Epilepsie, Kopfschmerzen.	Atembeschwerden Hämoptyse, Husten



Kardial	Allgemeinzustand		
Thoraxschmerzen/ Brustenge, Schock	auffällige Müdigkeit, Malaise		

(Jüttner et al., 2022; Moon, 2023; Clayton & Walklett, 2022; Sadler, 2023)

### 1.7.3 Typen

Die Dekompressionskrankheit wird in zwei Typen unterschieden.

Die erste Klasse (Typ I) besteht aus milder, nicht lebensbedrohlicher oder neurologischer bedrohlicher Symptomatik.

Die zweite Klasse (Typ II) beinhaltet alle schweren Formen einer DCS und benötigt eine Behandlung in einem hyperbaren Zentrum.

#### 1.7.3.1 Typ I

Nur milde Symptome:

- Auffällige Müdigkeit
- Hautjuckreiz **ohne** sichtbare Hautveränderungen

(Jüttner et al., 2022)

#### 1.7.3.2 Typ II

Schwere Symptome:

- Sichtbare Hautflecken und -veränderungen („Taucherflöhe“)
- Parästhesien
- Taubheitsgefühle
- Subkutane Schwellung
- Gliederschmerzen
- Gürtelförmige Schmerzen
- Lähmungen
- Blasenentleerungsstörung
- Koordination- und/oder Gangstörungen
- Seh-, Hör- und Sprachstörungen
- Schwindel
- Übelkeit / Erbrechen
- Bewusstseinsstörungen
- Körperliche Schwäche
- Atembeschwerden
- Herz-Kreislauf Probleme (Brustschmerzen, Schock)

(Jüttner et al., 2022)

### 1.7.4 Diagnostik

Die Diagnose einer DCS ist eine klinische Diagnose basierend auf der Evaluation der Symptomatik im Zusammenhang mit den Umständen des Tauchgangs und den Risikofaktoren. (Moon & Mitchel, 2021)

**„Grundsätzlich sollte bei einem medizinischen Zwischenfall im zeitlichen Zusammenhang mit dem Tauchen von einem Tauchunfall ausgegangen werden“ (Jüttner et al., 2022, S. 9)**

Weitere Untersuchungen haben nur ein begrenztes Interesse und sind routinemäßig nicht erforderlich.

Nur bei unklaren Umständen und um mögliche andere Ursachen des Zustandes auszuschließen, darf die Druckkammerbehandlung durch weiterführende Diagnostik so wenig wie möglich verzögert werden. (Jüttner et al., 2022)

#### **1.7.4.1 Körperliche Untersuchung**

Ein Primary Survey nach ABCDE ist erforderlich und da die Symptomatik sich dynamisch verändern kann, sollte eine regelmäßige Reevaluation stattfinden.

Während der körperlichen Untersuchung soll besonders auf folgende Punkte geachtet werden:

- Kardiopulmonal: Pneumomediastinum aktiv suchen (subkutane Krepitationen oder Emphysem), auf Husten und Hämoptyse achten, Lungen gründlich auskultieren.
- Neurologie: ausführliche neurologische Untersuchung (inklusive Hirnnerven, Kraft, Sensibilität, Reflexe, neurologischer Zustand, Sphinktertonus). Bei schweren DCS stehen neurologische Symptome im Vordergrund. Deswegen ist die neurologische Untersuchung von größter Bedeutung.
- Muskuloskelettal: Gelenkschmerzen oder Gliederschmerzen gelten als die häufigsten Symptome einer DCS.
- Haut: Ausschläge, Hautveränderungen sowie subkutane Ödeme/Luft suchen.
- HNO: nach Zeichen eines Barotraumas suchen (perforiertes Trommelfell, Hämatotympan).
- Urologie: Ein Harnverhalt kann eine Verschlechterung der neurologischen Symptomatik andeuten.

(Sadler, 2023)

#### **1.7.4.2 Bildgebende Verfahren**

- Röntgen: Bei Verdacht auf einen Pneumothorax (durch Barotrauma) ist eine Bildgebung (Thorax-Röntgen, Sonographie oder Computertomographie) vor der Verlegung in die Druckkammer nötig. (Jüttner et al., 2022)
- Computertomographie: Eine Bildgebung mittels einer Computertomographie kann manchmal nützlich sein, um andere Ursachen (CVI, Hirnblutung, usw.) auszuschließen. (Moon & Mitchel, 2021)
- MRI: Eine MRI Bildgebung ist nicht genügend sensitiv um anatomische Veränderungen frühzeitig zu erkennen, die durch eine neurologische Dekompressionskrankheit verursacht werden. (Moon & Mitchel, 2021)

#### **1.7.4.3 Labor**

Es existiert keine spezifische Laboruntersuchung für eine Dekompressionskrankheit. Entgleisungen im Blutbild oder den Elektrolyten sind aber nicht selten.

Bei schweren DCS kann eine endotheliale Leckage zu einer signifikanten Hämokonzentration und einer Erhöhung des Hämatokrits führen.

Bei arteriellen Gasembolien ist eine Erhöhung der Creatinin-Kinase (CK) (durch die Verletzung von Muskeln) nicht selten. Bei schweren AGE Fällen wurde auch eine Erhöhung von LDH und Transaminasen beobachtet. (Sadler, 2023)

#### **1.7.5 Überwachung**

Beurteilung nach ABCDE (Primary Survey).

Komplettes Monitoring (Blutdruck, Sauerstoffsättigung, EKG Ableitungen, Atemfrequenz) und engmaschige Überwachung.

Neurologische Untersuchung (siehe Anhang D: Neurocheck für Taucher).

Lagerung nach notfallmedizinischen Standards (zB. Bei Dyspnoe atemerleichtende Position).

Keine körperliche Anstrengung.

Keine aktive Aufwärmung (durch die Vasodilatation steigt das Risiko für weitere Blasenbildung und fördert eine Verschlechterung der Symptomatik).

(Jüttner et al., 2022)

### 1.7.6 Weitere Massnahmen

Folgende Massnahmen können vor der Verlegung in die Druckkammer erforderlich sein:

- Pleuradrainage bei einem Pneumothorax (Risiko einer Verschlechterung durch die Druckminderung beim Aufstieg am Ende der Rekompensation).
- Parazentese bei bewusstlosen Patienten (Druckausgleich im Innenohr wegen der Bewusstlosigkeit nicht möglich).
- Blasenkatheter bei Sphynkterstörungen oder Harnverhalt.

(Jüttner et al., 2022)

### 1.7.7 Mögliche assoziierte Pathologien

Neben einer Dekompressionskrankheit können weitere tauchbezogene Pathologien auftreten:

- Barotrauma der Nasennebenhöhlen
- Barotrauma des Ohrs (Außen-, Mittel- oder Innenohr)
- Mask squeeze (fazial Barotrauma)
- Pneumothorax oder Spannungspneumothorax
- Mediastinalemysem
- Lungenödem (immersionsbedingt)
- Pathologien im Zusammenhang mit einer Ertrinkung
- Hypothermie

Die Behandlung dieser assoziierten Pathologien sollte nach Notfallstandard erfolgen und wird in dieser Arbeit nicht weiter beschrieben.

(Jüttner et al., 2022)

## 2 Literaturrecherche und Analyse

### 2.1 Therapien

#### 2.1.1 Normobarer Sauerstoff (NBO)

Die Inhalation von 100% Sauerstoff beschleunigt die Ausschüttung von Stickstoff durch die Erweiterung des Partialdruckunterschieds zwischen den Lungen und der Zirkulation. (Moon, 2023)

Diese soll so schnell wie möglich begonnen werden (am besten durch die Ersthelfer vor Ort) und soll bis zur Ankunft im hyperbaren Zentrum auf keinen Fall unterbrochen werden (Jüttner et al., 2022; Moon & Mitchel, 2021).

Bei insuffizienter Oxygenierung aber wachem Patienten ist eine CPAP oder High-Flow Therapie empfohlen. Da eine neurologische Beurteilung durch die benötigte Sedation verhindert wird, soll die Intubation als Ultima Ratio angesehen werden. (Jüttner et al., 2022)

Die Studie von Dr. Werner Stipp (2007) zeigt, dass die Applikation von normobarem Sauerstoff den Patienten vor einer Ausbreitung der neurologischen Symptome schützt und kann sogar eine Verzögerung in der hyperbaren Versorgung überbrücken. Aus diesen Gründen wird die Gabe von 100% Sauerstoff unter normalem atmosphärischen Druck als Standard und Sofortmassnahme in allen Studien und Leitlinien empfohlen. (Bennett et al., 2003)

#### 2.1.2 Flüssigkeit

Durch die immersionsinduzierte Diurese und die Atmung von getrocknetem Atemgas sind die verunfallten Taucher oft dehydriert. Dies kann das Outcome negativ beeinflussen.

Ein Case Review durch Dr. Emmanuel Gemppe et al. (2013) und die Studie von Dr. Werner Stipp (2007) zeigt, dass ein erhöhter Hämatokritwert mit einer schlechten Prognose verbunden ist. Dies erhöht das Risiko eines Capillary leak Syndroms.

Die schweizerische Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin empfiehlt in ihren Leitlinien (2022) die Gabe von 0.5 L bis 1.0 L glukosefreier Vollelektrolytlösung (Ringerlactat, Ringerfundin) pro Stunde. (Jüttner et al., 2022)

Andere Leitlinien und Studien unterstützen diese Empfehlung, die Menge von Flüssigkeit variiert jedoch oder wird nicht spezifisch genannt. (Moon & Mitchel, 2021; Bennett et al., 2003; Sadler, 2023)

### **2.1.3 Antikoagulation**

Die intravasalen Blasen führen zu einer Aktivierung der Koagulationskaskade und diese spielt eine wichtige Rolle in der Pathogenese der Dekompressionskrankheit. Die gebildeten Thromben und ihre Lokalisation sind für einen Teil der Symptomatik verantwortlich.

Aus diesem Grund scheint es sinnvoll eine Antikoagulation bei einer DCS zu beginnen. Diese Theorie wird aber von den Studien nicht unterstützt.

In Frankreich wird die Gabe von Aspirin durch die französische Föderation empfohlen, in den Tauchausbildungen unterrichtet und in über 75% der hyperbaren Zentren als Standardtherapie genutzt. (Bessereau et al., 2008)

**Die schweizerische Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin empfiehlt Antikoagulantien in der Behandlung der Dekompressionsunfälle nicht.** (Jüttner et al., 2022)

#### **2.1.3.1 Aspirin (ASS)**

Eine Publikation von Dr. Bessereau (2008) berichtet über den Gebrauch von Aspirin in der Behandlung von Dekompressionsunfällen in Frankreich. 77.5 % der Hyperbarzentren verschreiben Aspirin, obwohl keine wissenschaftliche Studie (weder bei Tieren noch Menschen) den Nutzen von ASS belegt. (Bessereau et al., 2008)

Eine weitere Studie durch Dr. Pontier (2010) kam zum Resultat, dass Aspirin keinen schützenden Effekt hat und zu keiner Besserung der Prognose führt. Diese Studie wurde aber an Ratten durchgeführt und die Ergebnisse sind rein theoretisch. (Pontier et al., 2011)

Das Risiko einer Blutung (wegen endothelialer Läsionen durch die Gasblasen) bei neurologischer DCS zu verschlimmern, hält andere Länder vom Gebrauch von Aspirin in der Behandlung der DCS ab. (Westerweel et al., 2013)

#### **2.1.3.2 Heparin**

Die Leitlinien der Undersea and Hyperbaric Medical Society (2002) empfehlen Heparin als Thromboseprophylaxe bei einer DCS induzierten Immobilisation, raten aber von Heparin bei neurologischer DCS ab. (Bennett et al., 2003)

In seiner Studie an Ratten (2010) konnte Dr. Pontier keine schützenden Effekte oder keine positive Beeinflussung der Prognose durch Antikoagulation mittels Heparin feststellen. (Pontier et al., 2011)

Dr. Moon empfiehlt eine Thromboseprophylaxe ohne eine spezifische Medikation zu nennen. (Moon & Mitchel, 2021)

Frau Dr. Sadler (2023) empfiehlt eine TVT-Prophylaxe bei schweren Fällen von Dekompressionskrankheiten in ihren Richtlinien von 2023.

#### **2.1.3.3 Clopidogrel**

Clopidogrel zeigte eine signifikante Reduktion der Schwere der Symptomatik sowie der Mortalität in einer klinischen Studie an Ratten (im Jahr 2010). Weitere Untersuchungen und klinische Studien an Menschen sind aber noch nötig, bevor diese Ergebnisse irgendwelche praktischen Anwendungen haben können. (Pontier et al., 2011)

### **2.1.4 NSAR**

Die Bildung von intravasalen Gasblasen und der mechanische Schaden am Gewebe triggern eine inflammatorische Reaktion im Körper. Diese wiederum unterstützt die Koagulation und dadurch die Entstehung von diversen Symptomen.

Deswegen ergibt es medizinisch Sinn, eine entzündungshemmende Therapie als Unterstützung der hyperbaren Sauerstofftherapie zu beginnen.

Dies wurde in einer klinischen Studie durch Dr. Bennett im Jahr 2003 untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie sind folgende:

- Die Gabe von Tenoxicam führte zu keiner Besserung der Prognose oder des Outcomes.
- Tenoxicam reduziert die Anzahl von nötigen Rekompansionen.
- Tenoxicam scheint keinen negativen Effekt auf den Patienten zu haben.

Auf Grund dieser Ergebnisse empfiehlt Dr. Bennett die Benutzung von Tenoxicam als Zusatztherapie zum hyperbaren Sauerstoff in der Behandlung von Dekompressionsunfällen. (M.Bennett et al., 2003, Vol 30, n° 3)

Weitere Literaturreviews aus 2010 und 2018 sowie die Leitlinien von Dr. Sadler (2023) unterstützen diese Schlussfolgerungen. (Bennett et al., 2010; Bennett MH, 2018; Sadler, 2023)

Der Gebrauch von NSAR in der Behandlung von DCS gilt aber noch nicht als Standard und wird durch die schweizerische Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin auf Grund von mangelnden Daten nicht unterstützt. (Jüttner et al., 2022)

### **2.1.5 Nitroglycerin**

Eine norwegische Studie aus dem Jahr 2006 stellt fest, dass die Benutzung von Nitroglycerin die Symptomatik sowie die Mortalität von Schweinen nach einem induzierten Dekompressionsunfall positiv beeinflusst. Weitere Untersuchungen und Studien sind aber noch notwendig, um diese Behandlung am Menschen zu empfehlen. (Moon, 2006)

### **2.1.6 Andere Therapien**

Weitere Therapien wie zB. mit Lidocain, Glukokorticoiden, Pentoxiphillin, Vitamin C, Diazepam, usw. werden regelmäßig vorgeschlagen.

Bis jetzt verfügt aber keine der Therapien über genügend Evidenz, um als Standardtherapie empfohlen und angewandt zu werden.

### **2.1.7 Symptomatische Therapie**

Im Vordergrund der Symptomatik stehen oft Schmerzen und Übelkeit.

Schmerzen werden in der Regel durch die Applikation von 100% Sauerstoff besser und die Gabe von Schmerzmedikation soll eher zurückhaltend sein. Opiate erhöhen das Risiko für Sauerstofftoxizität (Risiko für Krampfanfällen) während der Rekompansion. NSAR (trotz des positiven Effekts auf die Reduktion der benötigten Rekompansion) erhöhen das Risiko einer Blutung. Die Entwicklung der Schmerzsymptomatik ist entscheidend für die Durchführung der Rekompansion (Zeit, Tiefe, usw). Deswegen soll bei starke Schmerzen eine adäquate Schmerztherapie durchgeführt werden, wenn möglich aber ohne starke, sedierende Analgetika. (Clayton & Walklett, 2022)

Gewisse DCS, vor allem neurologische oder vestibuläre, verursachen starke Nausea, welche zusätzlich durch die Exposition mit hohen Sauerstoffpartialdrücken gefördert wird. Diese Nausea erschweren das Tragen einer Sauerstoffmaske, welches während der Rekompansion (mind. 2 Stunden) aber zwingend nötig ist. Deswegen ist es wichtig eine gute antiemetische Therapie durchzuführen. Metoclopramid, Ondansetron oder eine Kombination von beidem soll großzügig genutzt werden.

Andere symptomatische Therapien sollen nach Rücksprache mit dem Tauchmediziner eingesetzt werden.

### **2.1.8 Advanced Life Support (ALS) Medikation**

„Alle Medikamente im Rahmen des ALS sollen indikationsgemäss eingesetzt werden“ (Jüttner et al., 2022, S. 17)

## **2.1.9 Definitive Versorgung**

### **2.1.9.1 Hyperbarer Sauerstoff (HBO)**

Die hyperbare Sauerstofftherapie gilt als das einzige effektive Therapieverfahren. (Moon & Mitchel, 2021)

**„Die Druckkammerbehandlung als Therapie des Tauchunfalls ist seit den ersten Fallbeschreibungen bis heute alternativlos“ (Jüttner et al., 2022, p. 19)**

Alle anderen Therapien, die in dieser Arbeit beschrieben werden, sollen nur als Überbrückung bis zur Verlegung in die Druckkammer zum Einsatz gebracht werden.

Die Ziele der Therapie in der Druckkammer sind folgende:

- Sofortige Reduktion des Volumens der Gasblasen. Dadurch werden die mechanischen Schäden am Gewebe sowie die Verschlüsse von Blutgefässen minimiert.
- Die Beschleunigung der Ausschüttung von inerten Gasen aus dem Gewebe, dies erfolgt durch die Erhöhung der Diffusionsgradienten von Inertgasen (Fick's law).
- Die Erhöhung der Oxygenierung von ischämischem Gewebe.
- Eine Reduktion des Ödems des zentralen Nervensystems.

(Moon & Mitchel, 2021)

Die meisten hyperbaren Zentren arbeiten mit dem „US Navy treatment table 6“ (siehe Anhang) um ihre Therapie zu steuern (Tiefe, Zeit der Rekompresseion, Air break, usw.).

### **2.1.9.2 Indikation zur Druckkammerbehandlung:**

Die Druckkammerbehandlung ist erforderlich:

- Wenn keine Besserung von milder Symptomatik (DCS Typ I) nach 30 Minuten Inhalation von 100% NBO.
- Beim Auftreten von schweren Symptomen.

(Jüttner et al., 2022)

### **2.1.9.3 Time to treatment**

**„Die erste Druckkammerbehandlung soll so schnell wie möglich erfolgen“ (Jüttner et al., 2022, S. 22)**

Die Studie von Dr. Stipp (2007) stellt fest, dass je schneller der Beginn der Rekompresseion erfolgt, desto besser das Outcome. Idealerweise soll sich der Patient innerhalb von zwei bis sechs Stunden in der Druckkammer befinden.

Dies ist so wichtig, dass für professionelle Taucher folgende Regeln gelten:

- Bei Tauchgängen von weniger als zehn Meter Tiefe und ohne Zeitlimit soll eine hyperbare Kammer innerhalb von sechs Stunden erreichbar sein.
- Bei Tauchgängen zwischen zehn und 50 Meter mit einer Dekompresseionszeit im Wasser von maximal 20 Minuten, soll eine hyperbare Kammer innerhalb von zwei Stunden erreichbar sein.
- Bei Tauchgängen tiefer als 50 Meter oder mit einer Dekompresseionszeit im Wasser länger als 20 Minuten, soll eine hyperbare Kammer vor Ort sein. (Stipp, 2007)

Diese Regeln sind für Freizeittaucher schwierig einzuhalten, deswegen wird empfohlen, dass der Patient innerhalb von maximal sechs Stunden nach dem Unfall in eine Druckkammer verlegt wird. Falls dieser Zeitraum überschritten wird, steigt das Risiko für bleibende Schäden. (Jüttner et al., 2022)

Eine weitere Studie mit über 5000 Unfällen in China postuliert, dass die Rekompresseionstherapie auf jeden Fall (unabhängig von der sechs Stunden Zeitraum) begonnen werden soll. Eine Linderung oder sogar eine totale Regredienz der Symptomatik wurde in über 93% der Fälle erreicht. (Xu et al., 2012)



## 2.2 Zusammenfassung Therapien

In den Schweizer Richtlinien wird nur die Applikation von 100% Sauerstoff und eine Flüssigkeitszufuhr von 0.5 L bis 1.0 L pro Stunde mittels isotonischer, glukosefreier Infusion empfohlen.

Die ALS Medikation soll indikationsgemäss eingesetzt werden.

Alle anderen Medikamente verfügen nicht über genügend Evidenz ihrer Wirksamkeit und werden aus diesem Grund nicht empfohlen.

Die einzige kurative Therapie ist die Applikation von hyperbarem Sauerstoff. (Jüttner et al., 2022)

## 2.3 Verlegung

### 2.3.1 Hyperbare Zentren in der Schweiz

Die Schweiz verfügt über drei hyperbare Zentren mit einer eingeschränkten 24-Stunden Dienstbereitschaft (Kontakt Daten im Anhang):

- HBO Zentrum Universität Genf
- HBO Zentrum Basel
- HBO Zentrum Mendrisio (Mobile HBOT emergency chambre)

Unsere Nachbarländer verfügen über eine geringe Anzahl von hyperbaren Zentren, manche davon haben keinen 24 Stunden Dienst oder können keine beatmeten Patienten behandeln. Eine Liste mit den Kontaktdaten ist unter folgender Adresse verfügbar:

<https://www.gtuem.org/schweiz/c-26.html>

**Die Koordination der Verlegung erfolgt immer durch die REGA.** Bei der Kontaktaufnahme ist besonders wichtig das Kennwort „Tauchunfall“ zu benutzen und die Situation so genau wie möglich zu schildern.

### 2.3.2 Transport

Alle Transportmittel sind für eine Verlegung geeignet (Helikopter, bodengebundene Rettungsfahrzeuge).

**„Es soll im Hinblick auf die Gesamt-Transportzeit das schnellste und schonendste Transportmittel verwendet werden „ (Jüttner et al., 2022, S. 21)**

- Helikopter sollen die niedrigste vertretbare Flughöhe benutzen.
- Ambulanzen sollen Passfahrten (mit über 300m Höhendifferenz) vermeiden.

Eine weitere Druckreduktion durch den Flug oder Fahrt über einen Bergpass erhöht das Risiko einer Verschlechterung des Patientenzustandes.

### 2.3.3 Wichtige Informationen für den Tauchmediziner

- Tauchgangdaten: Dauer, Tiefe, Atemgas(e), vorgängige Tauchgänge in den letzten Tagen. Wenn vorhanden der Tauchcomputer des Verunfallten mitgeben.
- Symptomverlauf: Symptombeginn, neurologische Untersuchung (siehe Anhang) und Entwicklung.
- Bisher durchgeführte Behandlungsmassnahmen: Beginn Sauerstofftherapie, applizierte Medikation, Pleuradrainage, Parazentese, Blasenkatheter.

(Jüttner et al., 2022)



### 3 Beantwortung der Fragestellung

#### 3.1 Welche notfallmedizinische Maßnahmen sollen bei einer Dekompressionskrankheit getroffen werden ?

##### 3.1.1 Pflegerische Maßnahmen

Primary Survey nach ABCDE: eine regelmäßige Evaluation des Patienten nach dem ABCDE Schema ermöglicht die Früherkennung von lebensbedrohlichen Veränderungen des Patientenzustandes.

Monitoring: komplettes Monitoring mit EKG Ableitungen, Blutdruck, Atemfrequenz und Sauerstoffsättigung.

Periphere venöse Zugänge: 2 grosslumige periphere venöse Zugänge legen, um ausreichend Flüssigkeit infundieren zu können.

Lagerung: ruhige Lagerung nach medizinischem Standard (beim wachen, kooperativen Patient: Rückenlage; bei Bewusstseinsstörungen: stabile Seitenlage; bei Dyspnoe: Positionierung des Oberkörpers auf 30-40°) ohne unnötige körperliche Anstrengung.

Überwachung: engmaschige neurologische Überwachung (Vigilanz, Lähmungen, Sensibilitätsstörungen, Sprach-, Seh- oder Hörstörungen, Amnesie, Schwindel, Kopfschmerzen, Krampfanfälle, Blasenentleerungsstörung) mit Dokumentation der Evaluation.

Sauerstoff: kontinuierliche Sauerstoffverabreichung mittels Maske mit Reservoir, mindestens 15 L/min. Bei insuffizienter Oxygenierung Wechsel auf High-flow Therapie oder NIV Therapie (FiO<sub>2</sub> 100%).

Wärmemanagement: auf den Wärmeerhalt achten, keine aktive Aufwärmung bei Hypothermie (Risiko einer Verschlechterung der Symptomatik).

Diverse: bei Blasenentleerungsstörungen kann die Einlage eines Blasenkatheters erforderlich sein (Einlage und Überwachung durch die Notfallpflege). Bei einem Pneumothorax ist die Einlage einer Thoraxdrainage erforderlich (Einlage durch den Arzt, Überwachung durch die Notfallpflege).

(Jüttner, et al., 2022)

##### 3.1.2 Untersuchungen

Die Diagnose einer Dekompressionskrankheit ist eine rein klinische Diagnose, basiert auf der Symptomatik des Patienten und den Umständen des Tauchgangs. Grundsätzlich soll bei jedem medizinischen Notfall im zeitlichem Zusammenhang mit einem Tauchgang von einer DCS ausgegangen werden.

Weitere Untersuchungen haben nur ein geringes Interesse und dürfen auf keinen Fall eine Verzögerung der hyperbaren Therapie verursachen.

Bildgebende Verfahren (Rx, CT, MRI), sind nur erforderlich bei Verdacht eines Pneumothorax oder um andere Ursachen des Patientenzustands auszuschließen.

Laborchemische Veränderungen sind bei DCS zu erwarten, bleiben aber unspezifisch und sind nicht aussagekräftig.

(Jüttner, et al., 2022)

##### 3.1.3 Medikation

Die Schweizer Richtlinien empfehlen nur die Gabe von 100% normobarem Sauerstoff (bis zur Verlegung in ein hyperbares Zentrum) und Flüssigkeitzufuhr von 0.5 L bis 1.0 L pro Stunden mittels isotonomischer, glukosefreier Infusionslösung.

Falls erforderlich soll die ALS Medikation indikationsgemäss angewendet werden.

Alle anderen Medikamente verfügen nicht über genügend Evidenz ihrer Wirksamkeit bei einer DCS.

Schmerzen sind für die Beurteilung des DCS und ihrer Entwicklung enorm wichtig. Deswegen soll die Schmerzsymptomatik nur zurückhaltend durch Medikamente verbessert werden.

Meistens reicht die Applikation von Sauerstoff, um eine genügende Schmerzlinderung zu erreichen. Falls dies nicht ausreichend ist, soll mit Paracetamol oder Ibuprofen gearbeitet werden. Opiate erhöhen die Sauerstofftoxizität und sollen aus diesem Grund nur sehr zurückhaltend gegeben werden.

Übelkeit und Emesis erschweren das Tragen der Sauerstoffmaske und führen zur Unterbrechung der Sauerstofftherapie. Aus diesem Grund soll eine suffiziente antiemetische Therapie mittels Ondansetron und/oder Metoclopramid durchgeführt werden.

Die einzige kurative Therapie durch eine Rekompensation und die Applikation von hyperbarem Sauerstoff kann nur in einem hyperbaren Zentrum durchgeführt werden und benötigt eine zeitnahe Verlegung.

(Jüttner, et al., 2022)

### **3.1.4 Organisation der Verlegung**

**Die Koordination von den nationalen und internationalen hyperbaren Zentren und die Organisation einer Verlegung in diese Zentren erfolgt ausschließlich durch die REGA.**

Die Situation soll so gut wie möglich dem REGA Arzt und/oder dem Tauchmediziner geschildert werden (Symptome, Symptombeginn und Entwicklung, Zustand des Patienten, bisherige durchgeführte Therapien und Maßnahmen, Parameter des Tauchgangs).

Die Verlegung kann entweder mit dem Helikopter oder mit einer bodengebundenen Ambulanz (ja nach Patientenzustand mit/ohne ärztliche Begleitung) stattfinden.

(Jüttner, et al., 2022)

### **3.2 Wie kann ich diese Maßnahmen in der Notfallstation des Spitals Davos einsetzen ?**

Die Schwierigkeit einer DCS besteht aus ihrer Rarität und der fehlenden Erfahrung des Notfallpersonals mit dieser Erkrankung.

Aus diesem Grund habe ich mich für die Erstellung eines Merkblatts, zur Erkennung einer DCS durch das Notfallpersonal entschieden. Es soll zudem einen Überblick über die notwendigen Untersuchungen, die pflegerischen Aspekte sowie die Medikation geben. Alle nötigen Telefonnummern und Informationen, um eine Verlegung zu organisieren, befinden sich ebenfalls auf diesem Merkblatt.

Jeden Monat wird hausintern eine Fortbildung für das Notfallpersonal organisiert. Ich werde diese Gelegenheit nutzen, um das Notfallteam mit dem Thema „DCS“ vertraut zu machen. In Rahmen einer kurzen Schulung werde ich ihnen das Merkblatt als Gedankenstütze vorstellen.

Bis 72 Stunden nach einem Tauchgang soll bei jedem medizinischen Notfall an einen Tauchunfall gedacht werden.

Aufgrund der Hochrisikosituation und die mögliche schnelle Entwicklung der Symptomatik soll jeder Verdacht auf einen Tauchunfall mindestens als ESI 2 triagiert werden.

Alle durchzuführenden Maßnahmen bei einer DCS (medizinisch sowie pflegerisch) werden schon routinemäßig bei anderen Pathologien im Spital Davos eingesetzt und sind durch das Notfallpersonal technisch zu meistern.

Die Koordination der hyperbaren Behandlung und die Organisation der Verlegung soll durch die Notfallärzte (Assistenzarzt und/oder Kaderarzt) mit Hilfe der REGA so schnell wie möglich erfolgen.

### 3.2.1 Merkblatt Dekompressionskrankheit

(Jüttner et al., 2022; Sadler, 2023; Clayton & Walklett, 2022; Pulley, 2019; Moon, 2023)

#### Dekompressionskrankheit erkennen:

Tauchgang in den letzten 72 Stunden

#### **Plus**

Ein oder mehrere der folgenden Symptome:

Ausschlag/Hautflecken mit/ohne Juckreiz  
auffällige Müdigkeit/Malaise  
Subkutanes Emphysem/Schwellung  
Gelenk-/Gliederschmerzen  
Parästhesien/Taubheitsgefühl  
gürtelförmige Schmerzen  
Lähmungen  
Seh-, Hör- oder Sprachstörungen  
Koordination-/Gangstörungen  
Amnesie  
Schwindel  
Übelkeit  
Epilepsie  
Bewusstseinsstörungen  
Kopfschmerzen  
Atembeschwerden (Husten, Hämoptyse, Dyspnoe)  
Thoraxschmerzen  
Schock

#### Diagnostik:

**KLINISCHE DIAGNOSE:** Symptome +  
Umstände des Tauchgangs  
Labor: keine typischen Veränderungen,  
Elektrolytentgleisung, Hämatokriterhöhung bei  
Dehydration, CK Erhöhung  
Weitere Diagnostik nur erforderlich, wenn:  
Verdacht auf Pneumothorax -> Rx, Sono, CT  
Unklare Umstände um andere mögliche  
Ursachen auszuschliessen -> CT, MRI  
**Verlegung in hyperbares Zentrum nie  
verzögern wegen Diagnostik**

#### Behandlung:

Evaluation nach ABCDE  
Komplettes Monitoring

#### **A:**

**CAVE Aspirationsrisiko (Emesis,  
Bewusstseinstörung)**

#### **B:**

**100% Sauerstoff mind. 15 L/min  
(Hochkonzentrationsmaske)  
CAVE Patient darf NIE ohne  
Sauerstoff sein.**

Bei insuffizienter Oxygenierung  
High Flow Therapie oder CPAP  
(F<sub>I</sub>O<sub>2</sub> 100%)  
Intubation = Ultima Ratio  
**CAVE Pneumothorax**

#### **C:**

2 periphere venöse Zugänge.  
Flüssigkeitstherapie 0.5 L bis 1.0  
L/Stunden (isotonische,  
glukosefreie Infusion).

#### **D:**

Neurologische Überwachung  
**CAVE progrediente Symptomatik  
CAVE Harnverhalt = Frühzeichen  
einer neurologischen  
Verschlechterung**

#### **E:**

Ganzkörperuntersuchung ->  
Suche nach Hautveränderungen.  
Lagerung nach Notfallstandard  
Keine körperliche Anstrengung  
Keine aktive Aufwärmung  
Regelmäßige Reevaluation (vor  
allem neurologisch)

#### Medikation:

Sauerstoff 100%  
Flüssigkeit 0.5 L bis 1.0 L/h (isotonische,  
glukosefreie Infusion)

**keine andere Medikation durch  
die Schweizer Richtlinien  
empfohlen.**

Symptomatische Therapie: Immer  
Rücksprache mit dem Tauchmediziner  
nehmen

Antiemetische Therapie:

Ondansetron/Primperan

Schmerztherapie: zurückhaltend sein (O<sub>2</sub>  
führt oft zur Schmerzreduktion), evt.

NSAR, Paracetamol.

**CAVE Opiate = Erhöhung der  
Sauerstofftoxizität in der Druckkammer**

#### Verlegung:

**Koordination durch REGA (1414)**

Bodengebunden oder Helikopter

**CAVE Druckreduktion durch den Flug  
oder Passfahrt = Risiko einer Aggravation**

3 hyperbare Zentren in der Schweiz:

- HBO Zentrum Universität Genf  
Notruf: 022 372 81 40
- HBO Zentrum Basel  
Notruf: 061 631 30 13
- HBO Zentrum Mendrisio  
Notruf: 091 800 18 32

Bei Fragen: Hotline 24h/7d in der  
Schweiz: Diver alert network in  
Kooperation mit der REGA (1414)

### 3.3 Kritische Auseinandersetzung

- Diese Diplomarbeit ist eine Zusammenfassung der Behandlung einer DCS in einem Notfallzentrum bis zur definitiven Behandlung in einem hyperbaren Zentrum.
- Weil die nötige Theorie für ein gründliches Verständnis der Pathophysiologie einer DCS den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengt, habe ich bewusst nur die nötigsten Informationen einer DCS gesammelt.
- Oft treten Begleitpathologien mit einer DCS zusammen auf. Diese sollen selbstverständlich gleichzeitig zur Therapie der DCS behandelt werden. Ich habe diese Pathologien in dieser Diplomarbeit nur erwähnt und ihre Behandlung nicht detailliert aufgelistet.
- Die Forschung über Tauchunfälle und Dekompressionskrankheit ist aufgrund der geringen Fallzahlen verlangsamt. Rechercheprotokolle über neue Medikamente sind schwierig zu erstellen und aus ethischen Gründen schlecht am Menschen durchführbar.  
Dies erklärt die geringe Anzahl von Publikationen, die langsame Entwicklung der Richtlinien und die begrenzte Anzahl von Medikamenten, die zur Behandlung von DCS empfohlen werden.
- Die Richtlinien und Empfehlungen bezüglich Medikamente können von Land zu Land variieren, was zu Verwirrung führen kann. Deshalb habe ich mich entschieden, mich an die Schweizer Richtlinien zu halten.
- Tauchunfälle und Dekompressionskrankheiten sind seltene Ereignisse, insbesondere in der Schweiz, wo das Ausbildungsniveau und die Erfahrung der Taucher sehr hoch ist. Daher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Notfallpflegende während ihrer Karriere mit solchen Unfällen konfrontiert werden, gering. Dennoch ist es wichtig, die Qualität der medizinischen Versorgung bei einem solchen Ereignis hochzuhalten.  
Diese Tatsache unterstreicht in meinem Sinn die Bedeutung einer umfassenden Abdeckung dieses Themas in der Notfallausbildung sowie die Verwendung von Richtlinien und Merkblättern.

## Literaturverzeichnis

- Antwerpes, F., Mathies, L., & Lange, W. (2022, 21.07.2022). *Druck*. DocCheck® Flexikon. Retrieved 08/04 from <https://flexikon.doccheck.com/de/Druck>
- Bennett, D. M., Bove, D. A., & Camporesi, D. F. B. D. E. (2003). Adjunctive Therapy for decompression illness : SUMMARY OF UNDERSEA AND HYPERBARIC MEDICAL SOCIETY GUIDELINES. *undersea and hyperbaric medicine*.
- Bennett, M. H., Lehm, J. P., Mitchell, S. J., & Wasiak, J. (2010, September). Recompression and adjunctive therapy for decompression illness: a systematic review of randomized controlled trials. *anesthesia-analgesia*, 111(3).
- Bennett MH, L. J., Mitchell SJ, Wasiak J. (2018). Recompression and adjunctive therapy for decompression illness : review. *Cochrane database of systematic review*.
- Bessereau, J., Coulange, M., Genotelle, N., Barthelemy, A., Michelet, P., Bruguerolle, B., Annane, D., & Auffray, J.-P. (2008). Place de l'aspirine dans le traitement médicamenteux de l'accident de désaturation. *Thearpeutique*, 63(6), 419-423.
- Burkhardt, M. (2015, 25.01.2015). *Die Schweiz, ein Land von Tauchern?* SwissInfo.ch. Retrieved 08.04 from <https://www.swissinfo.ch/ger/gesellschaft/die-schweiz-ein-land-von-tauchern/41192316#:~:text=Der%20Schweizer%20Unterwasser%2DSport%2DVerband,300%20Polizisten%20und%2036%20Armeeangeh%C3%B6rige>
- Clayton, S., & Walklett, C. (2022). <https://www.rcemlearning.co.uk/reference/decompression-illness/#1567502920236-96a835e2-60e9>
- EDA Präsenz Schweiz. (2022, 26.05.2023). *Seen und Flüsse*. EDA. Retrieved 08/04 from <https://www.eda.admin.ch/aboutswitzerland/de/home/umwelt/geografie/seen-und-fluesse.html#:~:text=Die%20Schweiz%20verf%C3%BCgt%20%C3%BCber%20reichhaltige,Gesamt%20l%C3%A4nge%20von%2061'000%20km>
- Europe, D., & Plongée, B. d. P. d. A. d. (2018, 2018). *Accidents de plongée-Rapport de cas 2017*. DAN Europe. Retrieved 08/04 from <https://www.cmas.ch/docs/it/downloads/diving-rapporti-di-incidente/FTU-DAN-Tauchunfaelle-2017-I.pdf>
- Fandler, M. (2020). *Nerdfall Medizin*. <https://nerdfallmedizin.blog/2020/08/03/nerdfacts-folge-7-2020-tauchunfall/>
- Foret, A., & Torres, P. (2018). *Plongée plaisir 1&2*. gap.
- Gempp, E., Lacroix, G., Cournac, J.-M., & Louge, P. (2013). Severe capillary leak syndrome after inner ear decompression sickness in a recreational scuba diver. *The journal of emergency medicine*, 45(1), 70-73.
- Jüttner, B., Wölfel, C., Camponovo, C., Schöppenthau, H., Johannes Meyne, K. M., Carmen Wohlrab, H. W., Till Klein, Schmeisser, G., Theiss, K., Wolf, P., Müller, O., Janisch, T., & Naser, J. (2022). Leitlinie Tauchunfall 2022-2027. Retrieved Dezember 1, from <https://suhms.org/>
- M.Bennett, Mitchell, S., & Dominguez, A. (2003, Vol 30, n° 3). Adjunctive treatment of decompression illness with a non-steroidal anti-inflammatory drug (tenoxicam) reduces compression requirement *Undersea und hyperbaric medicine*
- Moon, R. (2006). Nitroglycerine: relief from the heartache of decompression sickness? *J Appl Physiol* 101, 1537–1538.
- Moon, R. (2023). *Decompression sickness*. <https://www.msdmanuals.com/professional/injuries-poisoning/injury-during-diving-or-work-in-compressed-air/decompression-sickness>
- Moon, R., & Mitchel, S. J. (2021). Hyperbaric oxygen for decompression sickness: 2021 update. *underwater and hyperbaric society*, 48(2).
- Moon, R. E. (2003 ). *Report of the decompression illness adjunctive therapy committee of the undersea und hyperbaric medical society*
- Moon, R. e. (2008, Volume 39, N° 2). Adjunctive therapy for decompression illness: a review and update. *Diving und hyperbaric medicine*

- Nicolay, N., & Antwerpes, F. (2024). *Doccheck Flexicon*.  
<https://flexikon.doccheck.com/de/Druck>
- Pontier, J.-M., Vallée, N., & Ignatescu, M. (2011). Pharmacological intervention against bubble-induced platelet aggregation in a rat model decompression sickness. *J Appl Physiol* 110, 724–729.
- Pulley, S. A. (2019). *decompression sickness : treatment and managment*.  
<https://emedicine.medscape.com/article/769717-treatment?form=fpf#d10>
- Sadler, C. (2023). *Complications of SCUBA diving*. <https://medilib.ir/uptodate/show/177>
- Seamann, A., & Antwerpes, F. (2024). *Doccheck Flexicon*.  
[https://flexikon.doccheck.com/de/Fick%27sches\\_Diffusionsgesetz](https://flexikon.doccheck.com/de/Fick%27sches_Diffusionsgesetz)
- Stipp, D. W. (2007). *Time to treatment for decompression illness*.
- Töpfer, A. (2016). *Thieme*. <https://m.thieme.de/viamedici/vorklinik-faecher-physiologie-1509/a/tauchen-truegerische-leichtigkeit-32228.htm>
- Überdruckmedizin, G. f. T.-u.). <https://www.gtuem.org/schweiz/c-26.html>
- Westerweel, P. E., Fijen, V. A., & Hulst, R. A. v. (2013). *Aspirin in the treatment of decompression sickness : what can we learn from French experience*.
- Xu, W., Liu, W., Huang, G., Zou, Z., Cai, Z., & Xu, W. (2012). Decompression illness: clinical aspects of 5278 consecutive cases treated in a single hyperbaric unit.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Diffusion's Gesetz.....	19
Abbildung 2 Boyle und Mariotte Gesetz (Clayton & Walklett, 2022).....	20
Abbildung 3: Henry's Gesetz (Clayton & Walklett, 2022) .....	20
Abbildung 4: US Navy treatment table 6 (Jüttner et al., 2022).....	21
Abbildung 5: Neurocheck für Taucher (Jüttner et al., 2022).....	23

## Anhang A: Abkürzungsverzeichnis

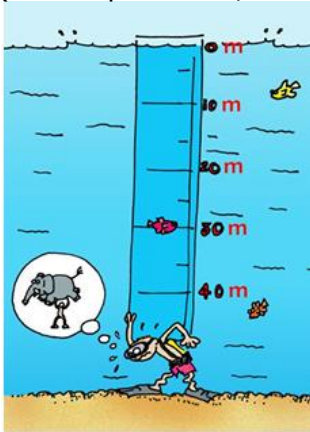
ABCDE	Airway Breathing Circulation Disability Exposure
AGE	Arterielle Gasembolie
ALS	Advanced Life Support
ASS	Aspirin
CPAP	Continuous Positive Air Pressure
CK	Creatinin Kinase
CT	Computer Tomographie
CVI	Cerebrale Venöse Insuffizienz
DCS	DeCompression Sickness (Dekompressionskrankheit)
FSSS	Fédération Suisse des Sports Subaquatiques
HBO	Hyperbaric Oxygen
MRI	Magnetic Resonance Imaging
NBO	Normobaric Oxygen
NIV	Nicht Invasive Ventilation
NSAR	Nichtsteroidales Antirheumatikum
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
REGA	Schweizerische Rettungsflugwacht
PFO	Persistierende Foramen Ovale
SSI	Scuba School International
TVT	Tiefen Venen Thrombose



## Anhang B: Physik

### Druck

Ein Druck entsteht durch die Applikation einer senkrecht wirkenden Kraft auf eine Fläche. Beim Tauchen besteht diese Kraft aus dem Gewicht der Wassersäule auf den Taucher. (Antwerpes et al., 2022; Nicolay & Antwerpes, 2024)



Ohne Druckvariation (Über- oder Unterdruck) entsteht keine Dekompressionskrankheit.

### Diffusion

Diffusion ist ein passiver, physikalischer Transportprozess, der ohne Energieaufwand zu einem Konzentrationsausgleich von Flüssigkeiten oder Gasen führt.

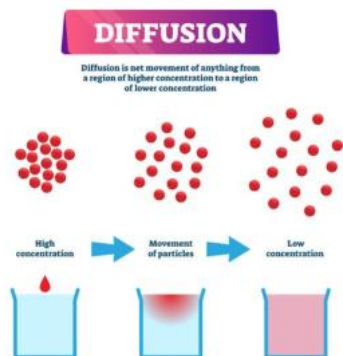


Abbildung 1: Diffusion's Gesetz

Dies in Kombination mit Fick'schem und Henry's Gesetz, erklärt die Aufnahme von Inertgasen im Gewebe während eines Tauchgangs und die Wirkung der Sauerstofftherapie bei Dekompressionskrankheit.

### Boyle und Mariotte Gesetze

Das Boyle und Mariotte Gesetz besagt, dass der Druck von idealen Gasen bei gleichbleibender Temperatur und gleichzeitig gleichbleibender Stoffmenge umgekehrt proportional zum Volumen ist ( $P_1V_1 = P_2V_2$ ). (Clayton & Walklett, 2022)

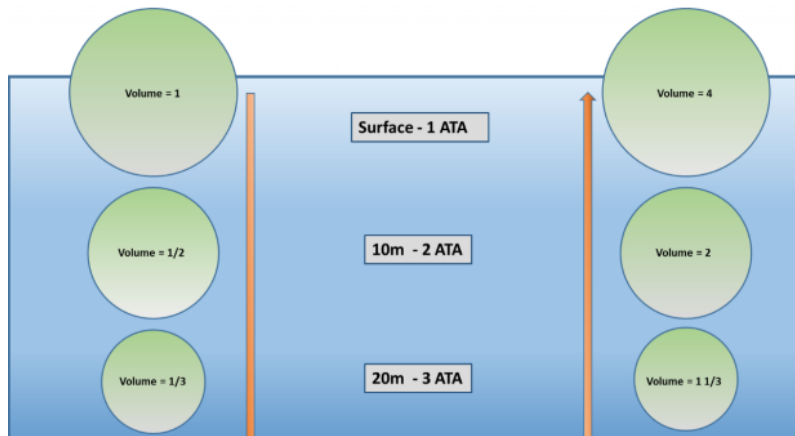


Abbildung 2 Boyle und Mariotte Gesetz (Clayton & Walklett, 2022)

Dies ist besonders wichtig um das Barotrauma zu verstehen.

### Fick'sches Diffusionsgesetz

Das Fick'sche Gesetz besagt, dass die Diffusionsgeschwindigkeit einer Substanz über eine Flächeneinheit (zB eine Membran) proportional zum Konzentrationsgradient ist. (Seamann & Antwerpes, 2024)

Fick'sches Diffusionsgesetz erklärt die Wirkung der hyperbaren Sauerstofftherapie.

### Henry's Gesetz

Bei einer konstanten Temperatur ist die Gasmenge, die sich in einer Flüssigkeit löst, proportional zum Partialdruck des Gases in der Flüssigkeit. (Clayton & Walklett, 2022)

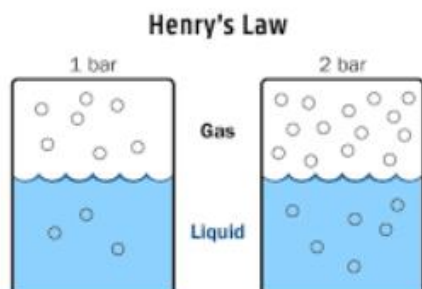
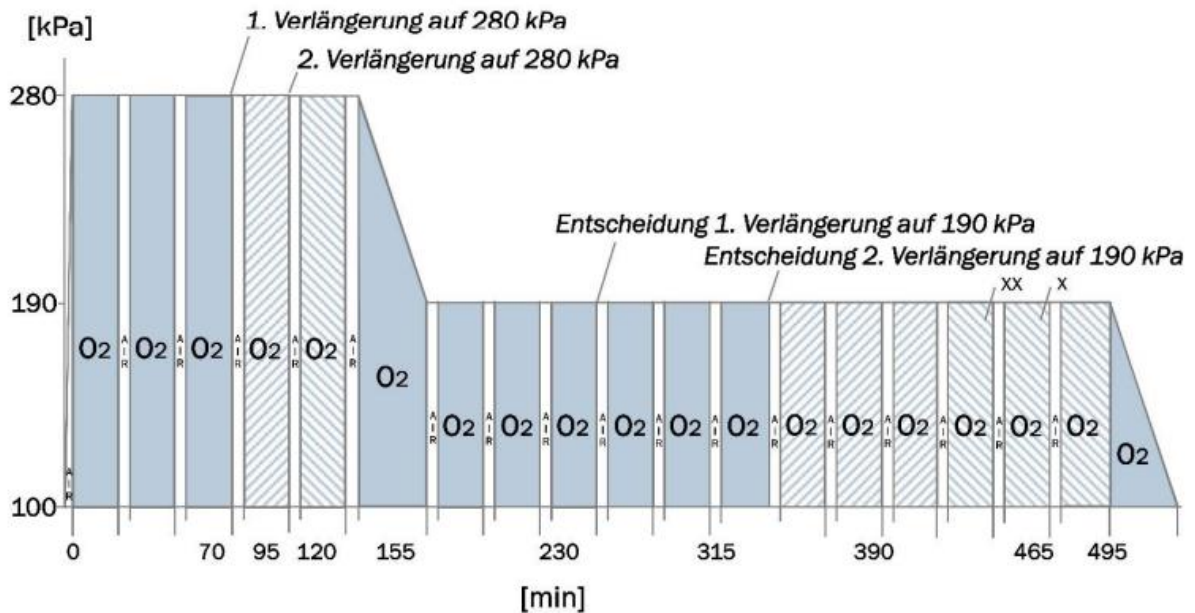


Abbildung 3: Henry's Gesetz (Clayton & Walklett, 2022)

Dies erklärt, warum ein Taucher umso mehr Inertgasen im Gewebe aufnimmt, je tiefer er taucht und warum das Risiko einer Dekompressionskrankheit mit der Tiefe steigt.

## Anhang C: US Navy Treatment table

**US Navy Treatment Table 6**  
modifiziert nach SchiffMedInstM/GTÜM



<sup>X</sup> Sauerstoffatmung für Begleiter während der letzten 30 min auf 190 kPa und während der Dekompression bis zur Oberfläche, wenn keine oder eine Verlängerung der Behandlungstabelle durchgeführt wurde.

<sup>XX</sup> Sauerstoffatmung für Begleiter während der letzten 60 min auf 190 kPa und während der Dekompression bis zur Oberfläche, wenn zwei oder mehr Verlängerungen der Behandlungstabelle durchgeführt wurden.

Abbildung 4: US Navy treatment table 6 (Jüttner et al., 2022)

## Anhang D: Neurocheck für Taucher

### NeuroCheck für Taucher



Name des Verunfallten: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_ Name des Untersuchers: \_\_\_\_\_

Prüfung/Item	Check 1 Uhrzeit: _____:	Check 2 Uhrzeit: _____:
<b>1. Bewusstsein</b>		
<i>Sprich die Person laut an, rüttle sie ggf. fest an den Schultern.</i>		
→ Ist die Person <u>wach</u> und ansprechbar?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
<b>Falls nein, weitere Angabe:</b>		
<input type="checkbox"/> Die Person ist schläfrig	<input type="checkbox"/> Die Person ist nicht erweckbar. (Achtung: Prüfe, ob eine Herz-Lungen- Wiederbelebung erforderlich ist!)	
<b>2. Orientierung</b>		
→ Kann die Person den aktuellen <u>Monat</u> und den <u>Ort</u> korrekt nennen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
<b>3. Kooperation</b>		
→ Kann die Person zwei Aufgaben korrekt befolgen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
<i>(Aufforderungen: Augen schließen, eine Hand zur Faust ballen)</i>		
<b>4. Sprache</b>		
→ Kann die Person zwei einfache Gegenstände (z.B. Stift, Uhr, Brille o.a.) korrekt benennen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
Erscheint die Sprache der Person normal und ist die Aussprache deutlich?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
<i>(Fordere sie/ihn auf, einen Satz nachzusprechen. Ist ein Gespräch, bzw. die Verständigung mit der betroffenen Person ungestört möglich?)</i>		
<b>5. Sehen</b>		
→ Kann die Person normal sehen?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
<b>Falls Nein</b> , ggf. nähere Beschreibung der Einschränkung des Sehens (z.B. Doppelbilder, Verschwommensehen):		
_____		
_____		
<b>6. Mimik</b>		
<i>Bitte die Person, die Zähne zu zeigen.</i>		
→ Ist die Beweglichkeit des Gesichtes seitengleich?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
<i>(Nein: Das Gesicht/der Mund ist schief oder eine Seite deutlich gelähmt.)</i>		
<b>7. Motorik</b>		
<i>Bitte die Person, beide Arme gleichzeitig für 10 Sekunden nach vorn zu halten.</i>		
→ Können beide Arme gerade herausgestreckt in dieser Position gehalten werden?	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein
<b>Falls Nein</b> : Welche Seite kann nicht gehalten werden oder nicht angehoben werden?		
<input type="checkbox"/> Rechter Arm sinkt ab	<input type="checkbox"/> Linker Arm sinkt ab	



Bitte die Person, im Liegen **einzel** das rechte/das linke Bein 5 Sekunden in die Luft zu halten (ca. 45°). → Können beide Beine einzeln in dieser Position gehalten werden?

Ja  Nein  Ja  Nein

**Falls Nein:** Welche Seite kann nicht gehalten werden oder nicht angehoben werden?

Rechtes Bein sinkt ab  Linkes Bein sinkt ab

#### 8. Sensibilität

Frage die betroffene Person, ob er/sie irgendwo am Körper Schmerzen, Taubheitsgefühle oder Missempfindungen verspürt. → **Ist die Empfindung normal?**

Ja  Nein  Ja  Nein

**Falls „Nein“** (Empfindung gestört), bitte weitere Angabe zu Ort und Art der Empfindungsstörung:

---



---

#### 9. Koordination

Bitte die Person, die Augen zu schließen und nacheinander erst mit dem rechten Zeigefinger und dann mit dem linken Zeigefinger auf ihre/seine Nase zu zielen.

→ Ist die Bewegung auf beiden Seiten zielgerichtet und trifft sie/er die Nase?

Ja  Nein  Ja  Nein

Frage die Person nach Schwindel. → **Ist sie frei von Schwindel?**

Ja  Nein  Ja  Nein

#### 10. Gang/Stand

Sichere die betroffene Person hierbei davor, zu stürzen! Prüfe diesen Punkt nur, wenn das Befinden der/des Betroffenen ein Aufstehen erlaubt!

→ Ist die Person in der Lage, mit offenen und mit geschlossenen Augen frei und sicher zu stehen? (Ohne dass er/sie schwankt oder droht zu stürzen?)

Ja  Nein  Ja  Nein

→ Kann die/der Betroffene normal gehen?

Ja  Nein  Ja  Nein

#### Sonstiges, Bemerkungen:

---



---



---



---



---

#### Hinweise zur Durchführung des NeuroCheck

- Der Test ist auffällig, wenn bei einem oder mehreren Punkten „Nein“ angekreuzt wurde.
- Ein unauffälliges Testergebnis schließt einen Tauchunfall nicht aus. Handle bei Verdacht auf einen Tauchunfall immer entsprechend, auch wenn der Test unauffällig ausfällt!
- Der NeuroCheck soll bei Verdacht auf Tauchunfall keine Verzögerung der Behandlung und der Einleitung der Rettungskette verursachen! (Notruf, HLW, Sauerstoffgabe sind vorrangig). Führe den ersten NeuroCheck am besten mit Beginn oder unmittelbar nach Beginn der Sauerstoffgabe durch.
- Zweck des Tests ist es, neurologische Symptome zu erkennen und zu dokumentieren – sowie deren Verlauf festzuhalten. Wiederhole weitere Checks kurzfristig (z.B. nach 30, 60, 90 min) und dokumentiere sie (Besserung unter Sauerstoffgabe?).
- Die Dokumentation des NeuroCheck verbleibt beim Verunfallten (z.B. dem Rettungsdienst mit Unfallprotokoll mitgeben).
- Die Tests 1-9 werden im Liegen untersucht. Test 10: Lasse die verunfallte Person nur aufstehen, wenn sie/er nur geringfügig betroffen ist und sie/er geh- und stehfähig ist.
- Weitere Informationen zum Vorgehen bei Verdacht auf einen Tauchunfall: VDST Notruf Hotline, Leitlinie Tauchunfall.



Abbildung 5: Neurocheck für Taucher (Jüttner et al., 2022)

## **Anhang E: Kontaktdaten hyperbare Zentren in der Schweiz**

### HBO Zentrum Universität Genf, HUG

Rue Gabrielle-Perret-Gentil 4  
CH 1211 Genève 14  
Notruf: 022 372 22 44  
Email: [therapie.hyperbare@hcuge.ch](mailto:therapie.hyperbare@hcuge.ch)  
Ansprechpartner: Dr. Rodrigue Pignel

### HBO Zentrum Basel

Kleinhünigerstrasse 177  
4057 Basel  
Notruf: 061 631 30 13  
Ansprechpartner: Med. pract. Marco Gelsomino  
Vorwarnzeit 30 Minuten

### HBO Zentrum Mendrisio

Mobile HBOT Emergency Chamber  
24h/7d permanente Bereitschaft  
Notruf: 091 800 18 32  
Ansprechpartner: Dr. Gian-Luca Sartori, Dr. Claudio Camponova