AWMF-Registernummer: 072-001

Leitlinie Tauchunfall 2022 - 2027

der

Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V.

und der

Schweizerischen Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin

SUHMS

erstellt am 01.12.2022 - gültig bis zum 30.11.2027

1 Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis 2
2 Abkürzungsverzeichnis 3
3 Informationen zu dieser Leitlinie 4
3.1 Federführende Fachgesellschaft 4
3.2 Kontakt 4
3.3 Empfohlene Zitierweise 4
3.4 Besonderer Hinweis 4
3.5 Verantwortlichkeiten 5
3.6 Zielsetzung 6
3.7 Grundlagen der Methodik 6
4 Definition, Pathophysiologie und Prävention 8
4.1 Definition 8
4.2 Ätiologie und Pathophysiologie 9
4.3 Prävention 10
5 Symptome und Diagnose 12
5.1 Milde Symptome 13
5.2 Schwere Symptome 13
6 Therapie 15
6.1 Maßnahmen Ersthelfer 15
6.2 Taucherärztliche Telefonberatung 16
6.3 Maßnahmen medizinisches Fachpersonal 17
6.4 Sauerstofftherapie/Sauerstoffgabe (normobare Oxygenation) 19
6.5 Transport 21
6.6 Druckkammerbehandlung 22
6.7 Behandlung von Kindern und Jugendlichen 27
6.8 Verlegung (Sekundärtransport) 27
7 Rehabilitation 28
8 Tauchtauglichkeit nach Tauchunfall 29
9 Qualitätsmanagement 30
9.1 Präklinische Kennzahlen 30
9.2 Klinische Kennzahlen 30
9.3 Poststationäre Kennzahlen 31
9.4 Aktualisierungsplanung 31
10 Anlagen 32
11 Literatur 38

2 Abkürzungsverzeichnis

ABCDE	Airway, Breathing, Circulation, Disability, Environment/Exposure
AGE	Arterielle Gasembolie
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BDA	Berufsverband Deutscher Anästhesisten
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
DAN	Divers Alert Network
DCI	Decompression Illness, Decompression Incident, Decompression Injury
DCS	Decompression Sickness
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin
DGAUM	Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin
DIVI	Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin
DLRG	Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft
DRK	Deutsches Rotes Kreuz
GTÜM	Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin
HBOT	Hyperbare Sauerstofftherapie
HFNC	High Flow Nasal Canula
HFOT	High Flow Oxygen Therapie
IWR	In Water Recompression
NHFT	Nasale High Flow Therapie
NIV	Non Invasive Ventilation, nicht invasive Beatmung
PFO	Persistierendes Foramen ovale
SUHMS	Schweizerische Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin
VDD	Verband Deutscher Druckkammerzentren
VDST	Verband Deutscher Sporttaucher

3 Informationen zu dieser Leitlinie

3.1 Federführende Fachgesellschaft

Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.)

3.2 Kontakt

Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.)
Geschäftsstelle
Professor-Küntscher-Straße 8
82418 Murnau am Staffelsee

gtuem@gtuem.org

3.3 Empfohlene Zitierweise

Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.). S2k-Leitlinie Tauchunfall 2022-2027. Verfügbar unter: http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/072-001.html (Zugriff am JJJJ/MM/TT)

3.4 Besonderer Hinweis

Die Medizin unterliegt einem fortwährenden Entwicklungsprozess, sodass alle Angaben, insbesondere zu diagnostischen und therapeutischen Verfahren, immer nur dem Wissensstand zurzeit der Drucklegung der Leitlinie entsprechen können. Hinsichtlich der angegebenen Empfehlungen zur Therapie und der Auswahl sowie Dosierung von Medikamenten wurde die größtmögliche Sorgfalt beachtet. Gleichwohl werden die Benutzer aufgefordert, die Beipackzettel und Fachinformationen der Hersteller zur Kontrolle heranzuziehen und im Zweifelsfall einen Spezialisten zu konsultieren. Fragliche Unstimmigkeiten sollen bitte im allgemeinen Interesse dem Leitlinienbeauftragten der federführenden Fachgesellschaft mitgeteilt werden.

Der Benutzer selbst bleibt verantwortlich für jede diagnostische und therapeutische Applikation, Medikation und Dosierung.

In dieser Leitlinie sind eingetragene Warenzeichen (geschützte Warennamen) nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen eines entsprechenden Hinweises nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Die Leitlinie ist in allen ihren Teilen urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Bestimmungen des Urheberrechtes ist ohne schriftliche Zustimmung unzulässig und strafbar. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert werden. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung, Nutzung und Verwertung in elektronischen Systemen, Intranets und dem Internet.

3.5 Verantwortlichkeiten

3.5.1 Beteiligte Fachgesellschaften und Organisationen

- Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e.V. (GTÜM, federführende Fachgesellschaft)
- Schweizerischen Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin (SUHMS)
- Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI), Sektion Hyperbarmedizin
- Verband Deutscher Sporttaucher e.V. (VDST)
- Schifffahrtmedizinisches Institut der Marine
- Verband Deutscher Druckkammerzentren e.V. (VDD)
- Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM)
- Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft e.V. (DLRG)
- Deutsches Rotes Kreuz e.V. (DRK), Wasserwacht
- Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI)
- Berufsverband Deutscher Anästhesisten e.V. (BDA)

3.5.2 Autoren dieser Leitlinie und Mitglieder der Leitliniengruppe

- Prof. Dr. Björn Jüttner (GTÜM, Leitlinienkoordinator),
  Medizinische Hochschule Hannover
- Dr. Christian Wölfel (SUHMS, Mandatsträger),
  SRO Spital Langenthal, Schweiz
- Dr. Claudio Camponovo (SUHMS, stellvertretender Mandatsträger),
  Klinik Ars Medica, Schweiz
- Dr. Holger Schöppenthau (DIVI, Mandatsträger),
  Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik Murnau
- Dr. Johannes Meyne (VDST, Mandatsträger),
  Praxis für Neurologie, Kiel
- Dr. Konrad Meyne (VDST, stellvertretender Mandatsträger),
  Goslar
- Dr. Carmen Wohlrab (Schifffahrtmedizinisches Institut der Marine, Mandatsträgerin), Kronshagen
- Dr. Henning Werr (Schifffahrtmedizinisches Institut der Marine, stellvertretender Mandatsträger), Kronshagen
- Dr. Till Klein (VDD, Mandatsträger),
  St.-Antonius-Hospital, Eschweiler
- Dr. Giso Schmeißer (DGAUM, Mandatsträger), Institut für Arbeit und Gesundheit der DGUV, Dresden

- Dr. Karsten Theiß (DLRG, Mandatsträger),
  Kinder- und Jugendarztpraxis Theiß, St Ingbert
- Dr. Philipp Wolf (DRK, Mandatsträger),
  Universitätsklinikum Regensburg
- Oliver Müller (DGAI, Mandatsträger),
  Vivantes-Klinikum Friedrichshain, Berlin
- Dr. Thorsten Janisch (DGAI, stellvertretender Mandatsträger),
  B.A.D. Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH
- Dr. Johannes Naser (BDA, Mandatsträger),
  Stauferklinikum, Mutlangen

3.5.3 Methodische Begleitung

- Dr. Susanne Blödt, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF)
- Dr. Cathleen Muche-Borowski, im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF), Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

3.6 Zielsetzung

Diese Leitlinie stellt den aktuellen Stand der Erkenntnisse und der Empfehlungen in der Diagnostik und Behandlung von Patienten mit Tauchunfällen dar,

- in der Ersten Hilfe durch Laien und der Versorgung durch medizinisches Fachpersonal und Ärzte.
- in dem Ablauf der Rettungskette und des Transports verunfallter Taucher.
- in der ersten hyperbarmedizinischen Therapie von Tauchunfällen.
- in der weiteren medizinischen Versorgung von Tauchunfällen.

3.7 Grundlagen der Methodik

Die methodische Vorgehensweise bei der Erstellung der Leitlinie ist im Leitlinienreport dargelegt. Dieser ist im Internet, z.B. auf den Seiten der AWMF (http://www.awmf.org/), frei verfügbar.

3.7.1 Verwendete Definitionen für Empfehlungs- und Konsensstärken

Tabelle 1: Formulierung der Stärke der Empfehlungen

Empfehlungsstärke	Syntax
Starke Empfehlung	soll/soll nicht
Empfehlung	sollte/sollte nicht
Offene Empfehlung	kann/kann verzichtet werden

Tabelle 2: Klassifikation der Konsensstärke

Konsensstärke	Prozentuale Zustimmung
Starker Konsens	Zustimmung von >95% der Teilnehmer
Konsens	Zustimmung von >75–95% der Teilnehmer
Mehrheitliche Zustimmung	Zustimmung von >50–75% der Teilnehmer
Kein Konsens	Zustimmung von <50% der Teilnehmer

3.7.2 Literaturrecherche

Eine ausführliche Darstellung der Methodik der Literaturrecherche ist in dem Leitlinienreport aufgeführt.

Für die Erarbeitung der Leitlinie wurde eine systematische Suche nach existierenden Leitlinien in verschiedenen Leitlinien-Datenbanken durchgeführt.

Eine systematische Suche nach Primärliteratur erfolgte in bibliographischen Datenbanken.

Die Sichtung und Eingrenzung der Literatur für die Bearbeitung der Schlüsselfragen erfolgte in den Arbeitsgruppen. Zusätzlich erfolgte hier eine Handsuche nach weiterer relevanter Literatur, Kongressberichten und Abstracts.

Im Rahmen dieser Leitlinienentwicklung der Stufe 2k erfolgte keine Bewertung der Evidenz.

Die Leitliniengruppe weist ausdrücklich darauf hin, dass mit den angegebenen Literaturstellen kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht.

3.7.3 Gültigkeitsdauer und Aktualisierungsverfahren

Die S2k-Leitlinie ist bis zur nächsten Aktualisierung am 30.11.2027 gültig. Vorgesehen sind regelmäßige Aktualisierungen. Bei dringendem Änderungsbedarf werden diese gesondert publiziert. Kommentare und Hinweise für den Aktualisierungsprozess sind ausdrücklich erwünscht und können an die folgende Adresse gesendet werden:

Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM e.V.), Professor-Küntscher-Straße 8, 82418 Murnau am Staffelsee, Deutschland, gtuem@gtuem.org.

4 Definition, Pathophysiologie und Prävention

4.1 Definition

Wie ist ein Tauchunfall definiert?

Ein „Tauchunfall“ im Sinne dieser Leitlinie ist ein potenziell lebensbedrohliches oder gesundheitsschädigendes Ereignis, hervorgerufen durch Abfall des Umgebungsdruckes beim Tauchen oder aus sonstiger hyperbarer Atmosphäre mit und ohne Tauchgerät.			
	Ja: 11/11	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Die Verdachtsdiagnose „Tauchunfall“ ist bei Vorliegen folgender Voraussetzungen wahrscheinlich [1]:

- Es wurde aus einem Tauchgerät unter Wasser geatmet, unabhängig von dem verwendeten Atemgas / der Atemgas-Mischung (eventuell nur ein Atemzug)

oder

- Es wurde aus einer Luftansammlung unter Wasser geatmet (zum Beispiel Wrack oder Höhle)

oder

- Es wurden Apnoe-Tauchgänge durchgeführt (in der Regel mehrere tiefe Tauchgänge) [2, 3]

und

- Es liegen milde und/oder schwere Symptome vor (siehe Abschnitt „Symptome und Diagnose", Seite 12)

Ist die Leitlinie „Tauchunfall“ für das Apnoetauchen anzuwenden?

Wenn ein Apnoetaucher nach einem Tauchgang Symptome eines Tauchunfalls im Sinne dieser Leitlinie entwickelt, soll diese Leitlinie angewendet werden.			
	Ja: 11/11	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Weder national noch international gibt es eine eindeutige Definition für den Begriff „Tauchunfall“. Sowohl im Alltag als auch in der Literatur werden unter diesem Begriff teilweise alle medizinischen Zwischenfälle und Ereignisse im zeitlichen Zusammenhang zum Tauchen bezeichnet. Zwischenfälle beim Tauchen müssen aber nicht in Verbindung zur hyperbaren Exposition stehen, z.B. Myokardinfarkt beim Tauchen. Auch bei den Zwischenfällen im Zusammenhang mit einer hyperbaren Exposition gibt es neben den in dieser Leitlinie definierten Tauchunfällen eine große Bandbreite an relevanten Erkrankungen, wie z.B. Barotraumen oder auch das submersionsbedingte Lungenödem.

Grundsätzlich sollte bei einem medizinischen Zwischenfall im zeitlichen Zusammenhang mit dem Tauchen von einem Tauchunfall ausgegangen werden.

Der definitionsgemäße Tauchunfall im Sinne dieser Leitlinie ist gekennzeichnet durch die Bildung oder Einschleppung von Gasblasen in Blut und Geweben. Aus diesen Vorgängen kann eine Dekompressionserkrankung entstehen. Sie wird Englisch als „Decompression Illness“, „Decompression Incident“ oder „Decompression Injury“ bezeichnet die international übliche Abkürzung hierfür ist „DCI“. Im deutschen Sprachgebrauch wird auch die Bezeichnung Dekompressionsunfall verwendet.

Tauchunfälle können abhängig vom Entstehungsmechanismus in

- Dekompressionskrankheit
  (englisch „Decompression Sickness“, Abkürzung „DCS“)

und

- Arterielle Gasembolie
  (englisch „Arterial Gas Embolism“, Abkürzung „AGE“)

unterschieden werden (siehe Anlage, Abbildung 1).

4.2 Ätiologie und Pathophysiologie

4.2.1 Dekompressionskrankheit

Es wird angenommen, dass die Blasenbildung der primäre Verletzungsmechanismus bei der Dekompressionskrankheit ist. Taucher absorbieren Inertgas (Stickstoff beim Luftatmen) in das Gewebe, wenn sie während eines Tauchgangs komprimiertes Gas einatmen. Während des Aufstiegs kann der Partialdruck des gelösten Gases in den Geweben den Umgebungsdruck überschreiten (Übersättigung), was zur Bildung von Blasen in diesen Geweben oder im sie durchströmenden Blut führt.

Die resultierenden venösen Gasblasen sind klein (19 bis 700 µm) [4], aber sehr häufig nach Tauchgängen [5] oder schneller Höhenexposition [6]. Sie werden normalerweise durch Lungenkapillaren gefiltert und sind asymptomatisch. Venöse Gasblasen können jedoch den arteriellen Kreislauf erreichen, indem sie die Filterkapazität des Lungenkapillarnetzwerks überfordern oder durch intrapulmonale oder intrakardiale Rechts-Links-Shunts, wie z. B. Vorhofseptumdefekte oder ein persistierendes Foramen ovale (PFO), übertreten.

Das Vorhandensein eines PFO erhöht die Wahrscheinlichkeit der Manifestation der Dekompressionserkrankung im Gehirn, Rückenmark, Innenohr und der Haut [7, 8, 9], vermutlich, weil winzige, arterialisierte venöse Gasblasen, die nach einem Tauchgang in die Kapillaren von übersättigtem Gewebe gelangen, durch Eindiffundieren von Inertgas (Stickstoff) wachsen [10].

Die Blasenbildung im Gewebe kann insbesondere in der weißen Substanz des Rückenmarks mechanische Störungen und fokale Blutungen verursachen [11]. Selbst kleine intravaskuläre Blasen können physikalische Auswirkungen mit entzündlichen und thrombogenen Reaktionen haben. Intravaskuläre Blasen können zu einer beeinträchtigten Regulierung des Gefäßtonus, Plasmalecks und Hypovolämie führen [12]. Durch diesen Mechanismus kann eine große Menge

venöser Gasblasen die Lungenkapillaren verletzen und ein Lungenödem hervorrufen [13].

4.2.2 Arterielle Gasembolie

Eine arterielle Gasembolie kann bei Tauchern auftreten, wenn komprimiertes Gas in der Lunge eingeschlossen wird und der Umgebungsdruck während des Aufstiegs an die Oberfläche sinkt. Die Ausdehnung des Gases führt zum Bruch der Alveolarkapillarmembranen und zum Eintritt von Gas in das Lungengefäßsystem. Ursächlich können eine unzureichende Abatmung des sich expandierenden Gases aus der gesamten Lunge oder lokale Erkrankungen wie Bronchialobstruktion oder Bullae sein.

Bereits geringe Druckdifferenzen bei Aufstiegen aus einer Tiefe von nur 1 Meter können hier ursächlich sein [14].

Große intraarterielle Blasen können einen Arterienverschluss, Ischämie und Infarkt verursachen. Sekundäre Wirkungen im Gehirn nach einer blaseninduzierten Ischämie ähneln wahrscheinlich Prozessen, die nach einem Schlaganfall auftreten, einschließlich der Freisetzung von exzitatorischen Neurotransmittern, oxidativem Stress, Entzündungen und einer Immunantwort [15].

4.3 Prävention

Trotz Einhaltung aller Sicherheitsstandards beim Tauchen kann das Auftreten eines Tauchunfalls nie vollständig ausgeschlossen werden. Im Rahmen der Prävention eines Tauchunfalls kommt dem Taucher eine hohe Eigenverantwortung zu. Um dieser gerecht zu werden und eine adäquate Entscheidung treffen zu können, müssen Kenntnisse der relevanten Einflussfaktoren und deren Auswirkungen sowie ggf. Korrekturmöglichkeiten vorhanden sein.

Jedem Tauchgang sollte eine dem Tauchgang entsprechende Tauchausbildung und Tauchgangsplanung vorangegangen sein.

Regelmäßiges Training von Fähigkeiten (inkl. Selbst- und Fremdrettung) und eine allgemeine körperliche Fitness sind eine wichtige Grundlage für sichere Tauchgänge.

Grundlegend für die Beurteilung ist eine Anamnese, die zentral von wahrheitsgemäßen Angaben der Taucher abhängig ist, sowie eine qualifizierte tauchmedizinische Untersuchung („Tauchtauglichkeit“): diese besteht aus klinischer Untersuchung und apparativen Untersuchungen (z.B. EKG, gegebenenfalls Belastungs-EKG, Lungenfunktion, Otoskopie). Neben der Detektion absoluter Kontraindikation (z.B. Anfallsleiden, eingeschränkte kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit) ist vor allem auch die vorausschauende Beratung Inhalt einer tauchmedizinischen Untersuchung. Diese Beratung umfasst immer allgemeine Aspekte für jeden Taucher wie auch individuelle Aspekte, die sich aus möglichen Risikofaktoren bzw. den erhobenen Untersuchungsbefunden ergeben.

Die allgemeine Beratung ergänzt die Inhalte der Tauchausbildung und sollte beispielweise den Aspekt des Dehydratationsrisikos (mangelnde Flüssigkeitszufuhr, Flüssigkeitsverlust durch Schwitzen und/oder Durchfall, …) oder auch Informationen zum Temperaturhaushalt und Verhalten bei vorrübergehenden Erkrankungen beinhalten. Der individuelle Teil ist in Abhängigkeit des untersuchten Tauchers

vielschichtig und kann Themen wie Verhalten bei Übergewicht (z.B. für ausreichende körperliche Fitness sorgen und Regeln des „Low Bubble Diving“ befolgen), Seekrankheit, chronische Erkrankungen, Medikation, auch in Abhängigkeit von den geplanten Tauchgängen, umfassen. Bei relativen Kontraindikationen sollte besprochen werden, wie diese Risikoerhöhung für einen Tauchunfall durch geeignete Maßnahmen wieder reduziert werden kann.

Der Tauchgang selbst kann durch gute und konservative Tauchgangsplanung, z.B. nach den Regeln des Low Bubble Divings, geplant und damit sicherer gestaltet werden.

Zudem muss der Taucher vor jedem Tauchgang seinen Gesundheitszustand dahingehend selbst beurteilen, ob Faktoren vorliegen, die die Sicherheit beeinträchtigen.

Auch das Verhalten nach einem Tauchgang kann das Risiko für das Auftreten eines Tauchunfalls beeinflussen. So führen zum Beispiel erhöhte körperliche Anstrengung (schwieriger Ausstieg oder Tragen von schweren Ausrüstungsgegenständen) oder kurze Abstände zu nachfolgenden Flügen zu einem erhöhten Risiko der Blasenfreisetzung und -zirkulation.

5 Symptome und Diagnose

Welche Untersuchungsverfahren sind geeignet zur Diagnose, Differentialdiagnose und zur Verlaufsbeobachtung eines Dekompressionsunfalls?

Alle nach einem Tauchgang neu aufgetretenen Symptome sollen als möglicher Tauchunfall angesehen werden, sofern keine anderen Entstehungsmechanismen offensichtlich sind.			
	Ja: 11/11	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Die Verdachtsdiagnose „Tauchunfall“ soll auf Grund der Symptome, unter Berücksichtigung des Tauchgangs und vorbestehenden Problemen oder Erkrankungen erfolgen. Frühestmöglich soll ein tauchmedizinisch fortgebildeter Arzt[1] beratend hinzugezogen werden.			
	Ja: 11/11	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Verunfallte sollen engmaschig im Hinblick auf hinzutretende Symptome oder eine Verschlechterung bestehender Symptome beobachtet werden.			
	Ja: 11/11	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Verunfallte sollen frühestmöglich insbesondere neurologisch untersucht werden. Eine erste orientierende neurologische Untersuchung soll bereits durch den Ersthelfer erfolgen, wenn hierdurch nicht die weitere Versorgung beeinträchtigt wird.			
	Ja: 10/10	Nein: 0	Enthaltung: 1
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Das vielfältige mögliche Erscheinungsbild der DCI erschwert die Diagnostik.

Die Diagnose einer DCI und gegebenenfalls in Betracht zu ziehender Differentialdiagnosen ist anhand der klinischen Symptome zu beurteilen.

Technische Zusatzuntersuchungen sind zur Diagnosestellung der DCI nicht erforderlich. Sie können jedoch zur Abgrenzung von Differentialdiagnosen erforderlich werden.

Aufgrund der häufigen neurologischen Symptome [16, 17] ist bei allen Tauchern mit vermutetem Tauchunfall eine neurologische Untersuchung durchzuführen. Eine Laien-Untersuchung durch Ersthelfer nach einem vorgegebenen

[1] Die Qualifikation soll mindestens den Weiterbildungsinhalten des „Diving Medicine Physician“ entsprechen, siehe: http://www.gtuem.org, http://www.suhms.org oder http://www.edtc.org.

Untersuchungsverfahren (siehe Anhang, Abbildung 5) kann ein frühes Erkennen von neurologischen Symptomen sowie die Verlaufsdokumentation der Symptomschwere ermöglichen.

Symptome eines Tauchunfalls können sich nach Ende des Tauchgangs vor und nach Beginn einer Behandlung schnell verändern. Verlaufsuntersuchungen sind daher erforderlich.

Welche Einteilungen sind zur Beurteilung des Schweregrades eines Tauchunfalls geeignet?

Das therapeutische Vorgehen unterscheidet sich abhängig vom Vorliegen milder oder schwerer Symptome. Diese Leitlinie klassifiziert den Schweregrad des Tauchunfalls daher nach dieser Einteilung, siehe 5.1 und 5.2.			
	Ja: 10/10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

In der internationalen tauchmedizinischen Literatur sind verschiedene Klassifikationen des Tauchunfalls beschrieben. Am bekanntesten ist die noch immer weltweit gebräuchliche traditionelle Klassifikation mit Unterteilung der Dekompressionsunfälle in DCS I (englisch: „bends“, „pain only“, „mild“, „minor symptoms“), DCS II (englisch: „severe“, „serious“, „major symptoms“) und arterielle Gasembolien (AGE). Auch modifizierte Klassifikationen, die ebenfalls zwischen „mild symptoms“ und „serious symptoms“ unterscheiden, wurden propagiert.

Die im Rahmen dieser Leitlinie verwendete Unterteilung in milde Symptome und schwere Symptome unterscheidet sich von den meisten der international gebräuchlichen Klassifikationen, um auch Patienten mit einer scheinbar „leichteren“ Symptomatik zur Vermeidung von Spät- oder Folgeschäden frühzeitig und konsequent adäquat zu therapieren.

Diese Leitlinie klassifiziert den Schweregrad des Tauchunfalls nach folgender Einteilung.

5.1 Milde Symptome

- „Auffällige Müdigkeit“
- „Hautjucken“ ohne sichtbare Hautveränderungen (Taucherflöhe)

5.2 Schwere Symptome

- Sichtbare Hautflecken und -veränderungen
- Missempfindungen (z.B. „Ameisenlaufen“)
- Taubheitsgefühle
- Subkutane Schwellung (lymphatische Symptome)
- Gliederschmerzen („Bends“)
- Gürtelförmige Schmerzen

- Lähmungen
- Blasenentleerungsstörungen
- Koordinations- und Gangstörungen
- Seh-, Hör- und Sprachstörungen
- Schwindel
- Übelkeit
- Bewusstseinsstörungen
- Körperliche Schwäche
- Atembeschwerden
- Herz-Kreislauf Probleme (Brustenge, Schock)

Welche weiteren tauchbedingten Gesundheitsstörungen sind bei Tauchunfällen differenzialdiagnostisch in Erwägung zu ziehen?

Neben der Dekompressionskrankheit und der arteriellen Gasembolie können weitere tauchbezogene Erkrankungen auftreten,

u.a.:

- Barotrauma der Nasennebenhöhlen, des Mittel-, Außen- oder Innenohres
- Barotrauma anderer luftgefüllter Höhlen im, bzw. am Körper des Tauchers (z.B. Maske)
- (Spannungs-)Pneumothorax
- Mediastinalemphysem
- Immersionsbedingtes Lungenödem
- Druckdifferenzschwindel
- Ertrinkungsunfall
- Unterkühlung

6 Therapie

Bei Tauchunfällen sind in der Regel die Tauchpartner, Sicherungstaucher, Tauchgruppenführer und Tauchausbilder zur Durchführung von Maßnahmen der Ersten Hilfe vor Ort.

Der Erfolg der Erstmaßnahmen und der weiteren Behandlung hängt entscheidend davon ab, dass die Maßnahmen der Ersten Hilfe schnell und richtig angewendet werden.

Voraussetzungen [18]:

- Eine entsprechende Ausbildung aller Taucher
- Vorhandensein einer auf die Tauchgangs-Planung angepassten Notfallausrüstung
- Eine Tauchunfall-Planung (Tauchnotfallplan, Telefonnummern)
- Sichere Kommunikationsmittel

6.1 Maßnahmen Ersthelfer

Welche Maßnahmen werden für Ersthelfer empfohlen?

Maßnahmen bei milden Symptomen (Abbildung 2):

- Sofortige Atmung von 100% Sauerstoff oder Atemgas mit dem höchsten verfügbaren Sauerstoffanteil unabhängig von dem während des Tauchens geatmeten Gasgemisch [19, 20] (siehe Abschnitt 6.4)
- Überprüfung von Bewusstsein, Bewegungsfähigkeit und Wahrnehmung (z.B. „NeuroCheck für Taucher", siehe Abbildung 5)
- Taucher, die selbständig trinken können, 0,5–1 Liter Flüssigkeit/Stunde trinken lassen [18, 21, 22] (isotonische, kohlensäurefreie Getränke bevorzugen / keine alkoholhaltigen Getränke)
- Schutz sowohl vor Auskühlung als auch vor Überhitzung [23, 24]
- keine „nasse Rekompression“
- 100% Sauerstoffatmung bis zur taucherärztlichen Beratung fortführen, auch wenn symptomfrei innerhalb 30 Minuten
- Taucherärztliche Telefonberatung [18] (siehe 6.2)
- Dokumentation des Tauchunfallverlaufs und der Maßnahmen
- wenn noch unverändert Symptome nach 30 Minuten fortbestehen oder Wiederauftreten, wie schwere Symptome behandeln
- Taucher nach Rückbildung von milden Symptomen 24 Stunden beobachten [18, 25]

Tauchpartner können im Verlauf ebenso symptomatisch werden. Sie sollen bezüglich milder oder schwerer Symptome beobachtet und gegebenenfalls in weitere diagnostische und/oder therapeutische Maßnahmen einbezogen werden.

Maßnahmen bei schweren Symptomen (Abbildung 2):

Beim bewusstlosen Taucher ohne erkennbare Eigenatmung gelten die Empfehlungen zu Wiederbelebungsmaßnahmen entsprechend den aktuellen internationalen Leitlinien[2].

- Herz-Lungen Wiederbelebung (Basic life support)

Tauchunfallspezifische Erste-Hilfe:

- Sofortige Atmung von 100% Sauerstoff oder Atemgas mit dem höchsten verfügbaren Sauerstoffanteil unabhängig von dem während des Tauchens geatmeten Gasgemisch [26, 27] (siehe Abschnitt 6.4)
- Überprüfung von Bewusstsein, Bewegungsfähigkeit und Wahrnehmung (z.B. „NeuroCheck für Taucher", siehe Abbildung 5)
- Lagerung [18, 23, 28, 29, 30]:
  - Seitenlage bei Bewusstseinsstörung
  - Ruhiglagerung/keine unnötige Bewegung
  - keine Kopftieflagerung

	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

6.2 Taucherärztliche Telefonberatung

Ein tauchmedizinisch fortgebildeter Arzt[3] soll beraten, ob eine Druckkammerbehandlung erforderlich und wie dringlich diese ist. Medizinische Laien und auch Ärzte ohne tauchmedizinische Ausbildung sind damit meist überfordert.

- Nationale DAN-Hotline für Deutschland und Österreich:
  00800 326 668 783 (00800 DAN NOTRUF)
- Nationale DAN-Hotline für die Schweiz (via REGA):
  +41 333 333 333 (oder 1414 für Anrufe innerhalb der Schweiz)
- VDST-Hotline:
  +49 69 800 88 616
- Schifffahrtmedizinisches Institut der Marine:
  +49 431 5409 1441
- Taucherhotline von aqua med:
  +49 421 240 110-10
- Internationale DAN-Hotline:
  +39 06 4211 8685 oder 5685

Bei allen Telefonnummern Kennwort „Tauchunfall“ angeben.

[2] Leitlinien für die kardiopulmonale Reanimation des European Resuscitation Council (ERC), siehe https://www.erc.edu.

[3] Die Qualifikation soll mindestens den Weiterbildungsinhalten des „Diving Medicine Physician“ entsprechen, siehe: http://www.gtuem.org, http://www.suhms.org oder http://www.edtc.org.

Eine aktuelle Liste mit Telefonnummern finden Sie auf der Internetseite der GTÜM, siehe http://www.gtuem.org.

6.3 Maßnahmen medizinisches Fachpersonal

Welche Maßnahmen werden für medizinisches Fachpersonal empfohlen?

Erstuntersuchung und Maßnahmen nach dem ABCDE-Schema.

Wiederbelebungsmaßnahmen sollen entsprechend den aktuellen internationalen Leitlinien durchgeführt werden[4].

- Herz-Lungen-Wiederbelebung (Advanced Life Support)
- Ausschluss/Behandlung eines Spannungspneumothorax

Ertrinkungsunfälle können Folge eines Tauchunfalls sein und sollen in einem solchen Fall spezifisch behandelt werden.

Die Maßnahmen bei milden Symptomen entsprechen denen der Ersthelfer.

Tauchunfallspezifische Maßnahmen bei schweren Symptomen (Abbildung 2):

- Sofortige Atmung von 100% Sauerstoff oder Atemgas mit dem höchsten verfügbaren Sauerstoffanteil unabhängig von dem während des Tauchens geatmeten Gasgemisch (siehe Abschnitt Sauerstofftherapie).
- Atemwegssicherung
  - Bei insuffizienter Oxygenierung und ausreichender Vigilanz ist Masken-CPAP/NIV oder eine nasale High-Flow-Sauerstofftherapie der Intubation für eine fortlaufende neurologische Beurteilung vorzuziehen.
- Flüssigkeitsersatz
  - 0,5–1 Liter Flüssigkeit/Stunde intravenös [18, 31] (Vollelektrolytlösungen bevorzugen)
- Lagerung [18, 23, 28, 29, 30]:
  - Lagerung nach notfallmedizinischen Standards
  - Ruhiglagerung/keine unnötige Bewegung
- Medikamente
  - Für die Behandlung von Tauchunfällen besteht ausgenommen für Sauerstoff bisher für kein Medikament eine wissenschaftlich eindeutig nachgewiesene Wirksamkeit.
    Alle Medikamente im Rahmen des Advanced Life Supports sollen indikationsgemäß eingesetzt werden.
- Keine „nasse Rekompression“
- Weitere Maßnahmen
  - Grundsätzlich Verfahren nach notfallmedizinischen Standards

[4] Leitlinien für die kardiopulmonale Reanimation des European Resuscitation Council (ERC), siehe https://www.erc.edu.

- Klinische und neurologische Untersuchungen frühestmöglich und im Verlauf
- Monitoring
- Gegebenenfalls Blasenkatheter
- Schutz sowohl vor Auskühlung als auch vor Überhitzung. Bei Unterkühlung keine aktive Wiedererwärmung, da dies zur Verschlechterung der Tauchunfall-Symptome führen kann
- Taucherärztliche Telefonberatung (siehe 6.2)
- Bei schweren Symptomen schnellstmögliche Behandlung in einer therapeutischen Druckkammer[5]
- Eine Druckkammer-Behandlung ist in den meisten Fällen auch bei verzögertem Behandlungsbeginn erforderlich
- Dokumentation der Tauchgangsdaten (Tauchcomputer), des Symptomverlaufes und der durchgeführten Behandlungsmaßnahmen
- Abwägung, ob Tauchpartner ebenfalls durch einen tauchmedizinisch fortgebildeten Arzt[6] untersucht und gegebenenfalls behandelt werden muss

	Ja: 7	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

Diese Abstimmung wurde mit und ohne konfliktbelastete Mitglieder der Leitliniengruppe für die Empfehlungen zur HBOT durchgeführt. Es zeigte sich mit und ohne Stimmenthaltungen (10 von 10) ein starker Konsens für die hier aufgeführten Empfehlungen.

[5] Verzeichnis der Behandlungs-Druckkammern in Deutschland, Österreich und der Schweiz, siehe https://www.gtuem.org.

[6] Die Qualifikation soll mindestens den Weiterbildungsinhalten des „Diving Medicine Physician“ entsprechen, siehe: http://www.gtuem.org, http://www.suhms.org oder http://www.edtc.org.

Gibt es alternative und/oder ergänzende Therapieverfahren gegenüber der Druckkammerbehandlung (u.a. Medikation, Stellungnahme IWR)?

Zu der Druckkammerbehandlung gibt es keine alternativen Therapieverfahren[7]. Für die Behandlung von Tauchunfällen besteht ausgenommen für Sauerstoff bisher für kein Medikament eine wissenschaftlich eindeutig nachgewiesene Wirksamkeit. Alle Medikamente im Rahmen des Advanced Life Supports sollen indikationsgemäß eingesetzt werden. Eine „nasse Rekompression“ (In Water Recompression, IWR) soll nicht durchgeführt werden. Sie bleibt professionellen Teams mit entsprechender Ausbildung, Erfahrung und personeller sowie materieller Ausstattung vorbehalten, wenn im Falle eines lebensbedrohlichen Tauchunfalls eine Druckkammer nicht innerhalb weniger Stunden erreicht werden kann [32, 33].			
	Ja: 7	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens
Diese Abstimmung wurde mit und ohne konfliktbelastete Mitglieder der Leitliniengruppe für die Empfehlungen zur HBOT durchgeführt. Es zeigte sich mit und ohne Stimmenthaltungen (10 von 10) ein starker Konsens für die hier aufgeführten Empfehlungen.			

Die Druckkammerbehandlung als Therapie des Tauchunfalls ist seit den ersten Fallbeschreibungen bis heute alternativlos [34, 35, 36, 37]. Mit der Etablierung der Sauerstoffatmung während dieser Behandlung entspricht die Hyperbare Sauerstofftherapie (HBOT) heute dem weltweiten Therapiestandard [38, 39, 40, 41]. Ein verzögerter Behandlungsbeginn der Rekompression, insbesondere länger als 6 Stunden, erhöht das Risiko von irreversiblen Schäden [25, 42, 43, 44, 45].

6.4 Sauerstofftherapie/Sauerstoffgabe (normobare Oxygenation)

Welche Art der Sauerstoffapplikation ist zu bevorzugen?

Für die Sauerstoffgabe soll die Applikationsform gewählt werden, die den höchsten verfügbaren Sauerstoffanteil bei Atmung bzw. Beatmung des Verunfallten ermöglicht. Die Ressourcenschonung spielt dabei eine untergeordnete Rolle.			
	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

[7] Verzeichnis der Behandlungs-Druckkammern in Deutschland, Österreich und der Schweiz, siehe https://www.gtuem.org.

Wie ist die Sauerstoffgabe durchzuführen?

Sauerstoffgabe (normobare Oxygenation)

Die kausale Therapie des Tauchunfalles besteht in der Atmung reinen Sauerstoffs [46, 47, 48, 49, 50, 51, 52] (FiO_2 1.0, „100%“).

Auch bei sehr begrenztem O_2-Vorrat soll O_2 immer in der höchsten verfügbaren Konzentration gegeben werden, unter Inkaufnahme, dass der Transport mit Luftatmung zu Ende geführt werden muss.

Zeitverzögerungen sind dabei zu vermeiden. Die sofortige Atmung von 100% Sauerstoff findet unabhängig von dem während des Tauchens geatmeten Gasgemisches statt.

- Bei **ausreichender Eigenatmung** Atmung von 100% mit:
  - Atemregler (mit Nasenklammer) [53]
  - Demand-Ventil [54]
  - Masken-CPAP/NIV (Risiko bei V.a. Pneumothorax beachten)
  - Nasale High-Flow-Sauerstofftherapie (NHF/HFOT/HFNC) [53]
  - Kreislauf-System mit Absorber für Kohlendioxid
  - Gegebenenfalls über Konstantdosierung (mindestens 15 Liter/Minute) mit Reservoirbeutel, wenn keine besseren Systeme zur Verfügung stehen
- Bei **unzureichender Eigenatmung** Atemwegsicherung nach notfallmedizinischen Standards und **Beatmung** (assistiert oder kontrolliert) mit 100% Sauerstoff über:
  - Ausschluss/Behandlung eines Spannungspneumothorax
  - CPAP/BiPAP (Risiko bei V.a. Pneumothorax beachten)
  - Kreislauf-System mit Absorber für Kohlendioxid
  - Beatmungsbeutel mit Demand-Ventil oder Reservoirbeutel und Konstantdosierung (mindestens 15 Liter/Minute), wenn keine besseren Systeme zur Verfügung stehen

Die Verabreichung von 100% Sauerstoff soll ohne Pause bis zum Erreichen der Behandlungsdruckkammer weitergeführt werden.

	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

6.5 Transport

Welche Transportmittel sind für verunfallte Taucher geeignet (Fahrzeug, Hubschrauber, Flugzeug, Boot)?

Es gibt keine prinzipielle Präferenz für ein bestimmtes Transportmittel. Es soll im Hinblick auf die Gesamt-Transportzeit das schnellste und schonendste Transportmittel verwendet werden. • Hubschrauber (niedrigste fliegerisch vertretbare Flughöhe) • Bodengebundene Rettungsfahrzeuge (Risiko bei Fahrten über Bergpässe durch weitere Druckreduktion) • Boot

	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

Alle verfügbaren Informationen wie die Dokumentation der Tauchgangsdaten (Tauchcomputer), Symptomverlauf und bisherigen Behandlungsmaßnahmen sollen bei dem verunfallten Taucher verbleiben.

	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

- Transportmittel-Organisation über Rettungsleitstelle
- Transportziel: Nächste geeignete erreichbare Notfallaufnahme, möglichst in Nähe einer Behandlungsdruckkammer, die den von der GTÜM geforderten Standards entspricht.

6.5.1 Versorgung während des Transports

Regelmäßige Wiederholung der klinischen und orientierenden neurologischen Untersuchung.

6.6 Druckkammerbehandlung

Wann besteht die Indikation zur Druckkammerbehandlung nach einem Tauchunfall?

Die erste Druckkammerbehandlung soll so schnell wie möglich erfolgen. Auch ein verzögerter Behandlungsbeginn (auch nach Tagen) kann eine Besserung der Symptomatik bewirken [45, 55, 56, 57, 58].

Die Indikation zur Druckkammerbehandlung ist gegeben bei:

- Milden Symptomen, die auch nach 30 Minuten Atmung von 100% reinem Sauerstoff nicht rückläufig sind.
- Bei schweren Symptomen besteht grundsätzlich die Indikation zur Druckkammerbehandlung.

	Ja: 7	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

Diese Abstimmung wurde mit und ohne konfliktbelastete Mitglieder der Leitliniengruppe für die Empfehlungen zur HBOT durchgeführt. Es zeigte sich mit und ohne Stimmenthaltungen (10 von 10) ein starker Konsens für die hier aufgeführten Empfehlungen.

6.6.1 Maßnahmen vor der ersten Druckkammerbehandlung

Eine bildgebende Diagnostik ist routinemäßig nicht erforderlich. Bei Verdacht auf Pneumothorax soll eine bildgebende Diagnostik erfolgen:

- Thorax-Röntgen,
- Sonographie oder
- Computertomographie.

Wenn eine weiterführende Diagnostik nach notfallmedizinischen Standards dringlich indiziert ist, um andere Ursachen des Zustandes auszuschließen, dann darf dadurch die Druckkammerbehandlung so wenig wie möglich verzögert werden.

Folgende Maßnahmen können erforderlich sein:

- Pleuradrainage
- Parazentese bei bewusstlosen Patienten, wenn ohne Zeitverzögerung fachkundig möglich
- Blasenkatheter

6.6.2 Behandlungstabellen

Welche Behandlungstabellen sollen angewandt werden?

Standard-Behandlungstabelle ist die „US Navy Treatment Table 6“ [41, 45, 59, 60, 61, 62] oder Modifizierungen dieser Tabelle mit einem initialen Behandlungsdruck von 280 kPa (Abbildung 3).			
	Ja: 7	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	
Diese Abstimmung wurde mit und ohne konfliktbelastete Mitglieder der Leitliniengruppe für die Empfehlungen zur HBOT durchgeführt. Es zeigte sich mit und ohne Stimmenthaltungen ein starker Konsens (10 von 10) für die hier aufgeführten Empfehlungen.			

Ist das Therapieverfahren von den verwendeten Atemgasen abhängig?

Die Standard-Behandlungstabelle „US Navy Treatment Table 6“ soll für alle Tauchunfälle verwendet werden, unabhängig von dem verwendeten Atemgas des verunfallten Tauchers.			
	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Die Druckkammerbehandlung kann verkürzt werden bei einem vollständigen Rückgang der nachfolgend aufgeführten Symptome innerhalb der ersten 10 Minuten der hyperbaren Oxygenation bei 280 kPa.

- Konstitutionelle bzw. unspezifische Symptome – ausgeprägte Müdigkeit
- Kutane Symptome – Hautveränderungen
- Lymphatische Symptome – lokale Schwellung
- Muskuloskeletale Symptome – Gelenk- und Gliederschmerzen
- Leichte peripher-neurologische subjektive sensorische Störungen ohne objektivierbare pathologische Befunde

In diesen Fällen kann die Behandlung entsprechend einer „US Navy Treatment Table 5“ oder analogen Tabellen verkürzt werden. Es dürfen jedoch keine zusätzlichen Symptome vorliegen oder vorgelegen haben.

Bei inkomplettem oder fehlendem Rückgang der Beschwerden oder Symptomen unter der hyperbaren Oxygenation wird die initiale Druckkammerbehandlung verlängert. Auf einem Behandlungsdruck von 280 kPa werden maximal zwei Verlängerungen von jeweils 25 Minuten Dauer (20 Minuten Sauerstoffatmung und 5 Minuten Luftatmung) durchgeführt, bei einem Behandlungsdruck von 190 kPa werden ebenfalls maximal zwei Verlängerungen von jeweils 75 Minuten Dauer (dreimal 20 Minuten Sauerstoffatmung und dreimal 5 Minuten Luftatmung) durchgeführt.

- Ist der behandelte Taucher nach 60 Minuten (dreimal 20 Minuten) Sauerstoffatmung auf dem initialen Behandlungsdruck von 280 kPa nicht nahezu beschwerdefrei, wird auf diesem Behandlungsdruck eine erste

Verlängerung von 20 Minuten Sauerstoffatmung und 5 Minuten Luftatmung durchgeführt.

- Ist der behandelte Taucher nach 80 Minuten (viermal 20 Minuten) Sauerstoffatmung auf 280 kPa nicht nahezu beschwerdefrei, wird auf diesem Behandlungsdruck eine zweite Verlängerung von 20 Minuten Sauerstoffatmung und 5 Minuten Luftatmung durchgeführt. Anschließend erfolgt die Dekompression auf 190 kPa gemäß Tabelle 6.
- Ist der behandelte Taucher nach 60 Minuten (dreimal 20 Minuten) Sauerstoffatmung auf einem Behandlungsdruck von 190 kPa nicht nahezu beschwerdefrei, wird nach insgesamt 120 Minuten (sechsmal 20 Minuten) Sauerstoffatmung auf diesem Druckniveau eine dritte Verlängerung von weiteren 60 Minuten (dreimal 20 Minuten) Sauerstoffatmung und 15 Minuten (dreimal 5 Minuten) Luftatmung durchgeführt.
- Ist der behandelte Taucher nach insgesamt 120 Minuten (sechsmal 20 Minuten) Sauerstoffatmung auf 190 kPa nicht nahezu beschwerdefrei, wird nach insgesamt 180 Minuten (neunmal 20 Minuten) Sauerstoffatmung auf diesem Druckniveau eine vierte Verlängerung von weiteren 60 Minuten (dreimal 20 Minuten) Sauerstoffatmung und 15 Minuten (dreimal 5 Minuten) Luftatmung durchgeführt. Anschließend erfolgt nach insgesamt 240 Minuten Sauerstoffatmung auf 190 kPa die Dekompression auf Umgebungsdruck gemäß Tabelle 6.

Andere Behandlungs-Tabellen, insbesondere Tabellen mit längeren Behandlungszeiten und höheren Behandlungsdrücken sowie Mischgas- und Sättigungsbehandlungstabellen, sollen Einrichtungen und Personal mit besonderer Erfahrung, Kenntnissen und einer entsprechenden Ausrüstung vorbehalten bleiben, welche es ermöglichen, auch mit unerwünschten Ereignissen und Ergebnissen umgehen zu können. Bei allen Behandlungstabellen sind sauerstoffangereicherte Atemgasgemische anzuwenden.

Wenn bei unzureichender Dekompression ohne Symptomatik die Indikation für eine Druckkammerbehandlung gestellt wird, sind kürzere Behandlungstabellen möglich, zum Beispiel „US Navy Treatment Table 5“ oder „Problemwunden-Schema“ (siehe Abbildung 4).

Nach initialer Druckkammerbehandlung ohne Besserung ist die Differentialdiagnose zu überprüfen.

6.6.3 Maßnahmen während der ersten Druckkammerbehandlung

- Wiederholte neurologische Kontrolluntersuchungen, zum Beispiel während Luftatmungsphasen, immer vor Entscheidungen über eventuell erforderliche Verlängerungen der Behandlungstabelle (Dokumentation!)
- Wiederholte klinische Untersuchung und Auskultation der Lungen (Pneumothorax? gegebenenfalls seitengleiche Beatmung? Halsvenenstauung?), insbesondere nach Drucksenkungen in der Behandlungstabelle
- Regelmäßige Kontrolle aller abgeschlossenen luftgefüllten Hohlräume in den Medizinprodukten (zum Beispiel Cuff des Beatmungstubus, Infusion,

Tropfkammer, Blutdruck-Manschette), immer vor und während Drucksenkungen in der Behandlungstabelle

- Grundsätzlich Verfahren nach notfallmedizinischen/intensivmedizinischen Standards
- Flüssigkeitsbilanzierung
- Für die Behandlung von Tauchunfällen besteht ausgenommen für Sauerstoff bisher für kein Medikament eine wissenschaftlich eindeutig nachgewiesene Wirksamkeit.
- Durchgeführte Maßnahmen zur Übergabe an den Weiterbehandelnden dokumentieren

6.6.4 Maßnahmen nach der ersten Druckkammer-Behandlung

Wie werden Patienten zwischen den Druckkammer-Behandlungen behandelt?

Jeder Patient soll nach der initialen Druckkammer-Behandlung für mindestens 24 h überwacht werden. Im kritischen Zustand kann eine Intensivtherapie notwendig sein. Zwischen den Druckkammer-Behandlungen wird zusätzlicher Sauerstoff nur bei verminderter Sauerstoffaufnahme im Blut (Hypoxämie) verabreicht. Erhöhte Sauerstoffspiegel werden nicht angestrebt. Die weitere Therapie erfolgt entsprechend dem klinischen Erkrankungsbild und nach Maßgabe der beteiligten Fachgebiete.

	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

- Frühestmöglicher Beginn intensiver spezifischer Therapie- und Rehabilitationsmaßnahmen, möglichst begleitend zur Druckkammer-Behandlung
- Vorteile der Physiotherapie während der Druckkammer-Behandlung gegenüber der alleinigen Durchführung zwischen den Druckkammer-Behandlungen sind nicht erwiesen
- Medikamentöse und weitere Therapie entsprechend dem klinischen Erkrankungsbild nach Maßgabe der beteiligten Fachgebiete

6.6.5 Weitere Druckkammer-Behandlungen

Werden Druckkammer-Folgebehandlungen empfohlen?

Sind nach der ersten Druckkammer-Behandlung noch Symptome vorhanden, soll sich innerhalb von 24 Stunden eine Folgebehandlung anschließen.			
	Ja: 7	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens
Diese Abstimmung wurde mit und ohne konfliktbelastete Mitglieder der Leitliniengruppe für die Empfehlungen zur HBOT durchgeführt. Es zeigte sich mit und ohne Stimmenthaltungen ein starker Konsens (10 von 10) für die hier aufgeführten Empfehlungen.			

- Mindestens 1x täglich Behandlung mit hyperbarem Sauerstoff (HBOT), zum Beispiel nach dem sogenannten „Problemwunden-Schema“ [33].
- Bei fortbestehenden schweren neurologischen Symptomen kann auch eine zweite Druckkammer-Behandlung entsprechend der Standard-Behandlungstabelle „US Navy Treatment Table 6“ erwogen werden.
- Andere Behandlungs-Tabellen sollen Einrichtungen und Personal mit Erfahrung, Kenntnissen und einer entsprechenden Ausrüstung vorbehalten bleiben, welche es ermöglichen, auch mit unerwünschten Ergebnissen umgehen zu können.

6.6.6 Abstände zwischen den Druckkammer-Behandlungen

- Höchstens 24 Stunden, aber maximal 2 Behandlungen innerhalb 24 Stunden

6.6.7 Weitere Diagnostik/Kontrolluntersuchungen nach klinischer Symptomatik

- Magnetresonanztomografie (MRT)
- Computertomografie (CT)
- Fachneurologische Konsiliaruntersuchungen (regelmäßig)
- Weitere fachärztliche Konsiliaruntersuchungen je nach Symptomatik und betroffenen Organsystemen.

6.6.8 Entscheidung über Beendigung der Druckkammerbehandlungen

- Nach vollständiger und anhaltender Symptomfreiheit kann die Druckkammer-Therapie beendet werden.
- Kommt es bei mehreren durchgeführten Behandlungen nach initialer Besserung unter fortgeführter Therapie während 3–5 Tagen zu keiner weiteren Verbesserung der Symptomatik, ist die Druckkammer-Therapie zu beenden.

6.7 Behandlung von Kindern und Jugendlichen

Wie werden Kinder und Jugendliche behandelt?

Tauchunfälle im Sinne dieser Leitlinie sind bei Kindern und Jugendlichen seltener als bei Erwachsenen. Ihre Behandlung unterscheidet sich prinzipiell nicht von der Behandlung Erwachsener. Im Vordergrund der Therapie steht die hochdosierte Sauerstoffgabe, ggf. auch eine zügige Druckkammer-Behandlung. Die Dosierung von Flüssigkeit und Medikamenten soll alters- und gewichtsadaptiert erfolgen. Zur Behandlung soll eine geeignete und angepasste Ausstattung zur Verfügung stehen. Die Versorgung von Kindern und Jugendlichen sollte altersabhängig in Zusammenarbeit zwischen einem Arzt mit Erfahrung in pädiatrischer (Intensiv-) Medizin und dem Druckkammerzentrum erfolgen [63].			
	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

6.8 Verlegung (Sekundärtransport)

Wenn nach der ersten Druckkammer-Behandlung noch Symptome vorhanden sind, müssen bei gesicherter Diagnose innerhalb von 24 Stunden gegebenenfalls weitere Behandlungen folgen. Wenn zwischen den Druckkammer-Behandlungen vor Ort keine stationäre medizinische Betreuung möglich ist, muss ein Transport in ein entsprechend ausgestattetes Behandlungszentrum[8] erfolgen. Die Wahl des Transportmittels erfolgt unter Abwägung des Patientenzustandes, der Transportstrecke und Transportzeit und der möglichen „Transportmittel“.

- Hubschrauber
- Ambulanz-Flugzeug
- Passagier-Flugzeug
- Boot
- Bodengebundene Rettungsfahrzeuge

Es gibt keine gesicherten Daten für eine pauschale Forderung nach einem Transport unter 1-bar-Bedingungen für Sekundärtransporte. Flüge mit üblichem Kabinendruck (zum Beispiel 0,8 bar absolut) sind sehr viel schneller und einfacher zu organisieren.

Es gibt Hinweise, dass Rezidive einer DCI nach Druckkammerbehandlung während oder nach dem Flug häufiger auftreten, als wenn nicht geflogen wird. Ebenso gibt es Hinweise, dass während des Fluges nicht mit einem Symptombeginn höheren Schweregrades zu rechnen ist und die Behandlungsaussichten nicht verschlechtert werden.

[8] Verzeichnis der Behandlungs-Druckkammern in Deutschland, Österreich und der Schweiz, siehe https://www.gtuem.org.

Bei einem Transport von Patienten nach Druckkammer-Behandlung stellt ein Flugtransport mit üblichem Kabinendruck (zum Beispiel 0,8 bar absolut) kein prinzipielles Transporthindernis dar.

Die Entscheidung für einen solchen Transport ist zu treffen in Abhängigkeit von a) dem bisherigen Krankheitsverlauf und b) der Schwere noch bestehender Symptome. Es liegen international keine einheitlichen Empfehlungen vor, nach welcher Zeit und nach wie vielen Druckkammerbehandlungen DCI-Patienten mit welchem Kabinendruck geflogen werden sollen. Die Entscheidung soll im Einzelfall mit erfahrenen Taucherärzten abgestimmt werden.

6.8.1 Medizinische Versorgung während des Sekundärtransportes

Die Notwendigkeit und der Umfang einer medizinischen Betreuung während des Transportes ergibt sich aus der Schwere des Krankheitsbildes.

- Verfahren nach notfallmedizinischen/intensivmedizinischen Standards
- Sauerstoffatmung muss möglich sein
- Flüssigkeitsbilanzierung
- Klinische und neurologische Verlaufskontrollen
- Dokumentation, zum Beispiel Notarzt-/Intensivtransport-Protokoll
- Patienten ohne oder mit minimaler Restsymptomatik nach der Primärversorgung können mit einem regulären Linienflug transportiert werden.

7 Rehabilitation

Welche Rehabilitationsmaßnahmen sind nach einem Dekompressionsunfall zu empfehlen?

Nach einem Tauchunfall sollen Fachgebiet und Rehabilitationsform (ambulant, stationär) einer Rehabilitationsmaßnahme anhand der funktionsspezifischen Beeinträchtigung und deren Ausmaß festgelegt werden.			
	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%		starker Konsens

- Tauchunfälle können in neurologischen, psychologischen, kardiozirkulatorischen, pulmonalen, konstitutionellen und orthopädischen Beeinträchtigungen münden [64, 17]. Neurologische Symptome sind dabei häufig die Ursache bleibender körperlicher Beeinträchtigungen.
- Ausmaß und Art bzw. das funktionelle Beeinträchtigungsausmaß sind maßgeblich für die Wahl einer Rehabilitationsmaßnahme.

- Es existieren keine spezifischen Rehabilitationsprogramme für Patienten mit Tauchunfall bzw. keine Studien zu Rehabilitationsprogrammen für verunfallte Taucher.
- Art, Dauer und Intensität einer Rehabilitationsmaßnahme orientieren sich nach einem Tauchunfall daher an vergleichbaren Erkrankungen anderer Ursache.

8 Tauchtauglichkeit nach Tauchunfall

Wie ist die Tauchtauglichkeit nach einem stattgehabtem Tauchunfall zu beurteilen?

Die Beurteilung der Tauchtauglichkeit nach Tauchunfall soll gemäß den Empfehlungen der nationalen und internationalen Fachgesellschaften für Tauchmedizin oder sofern zutreffend den entsprechenden nationalen Rechtsvorschriften erfolgen.			
	Ja: 10	Nein: 0	Enthaltung: 0
	Konsensstärke: 100%	starker Konsens	

Voraussetzung für die Untersuchung einer erneuten Tauchtauglichkeit ist eine vollständige Beendigung der Tauchunfall-Therapie und die Stabilität des Behandlungsergebnisses, auch im Fall von Residuen.

Die erneute Tauglichkeitsuntersuchung soll nur durch einen erfahrenen und tauchmedizinisch fortgebildeten Arzt[9] erfolgen. Zusätzlich soll er über praktische Erfahrung in der Tauchunfall-Behandlung verfügen.

Für gewerbliche Taucher gelten besondere nationale Rechtsvorschriften einschließlich der damit in Zusammenhang stehenden arbeitsmedizinischen Vorsorge bzw. Eignungsuntersuchung.

[9] Die Qualifikation soll mindestens den Weiterbildungsinhalten des „Diving Medicine Physician“ entsprechen, siehe: http://www.gtuem.org, http://www.suhms.org oder http://www.edtc.org.

9 Qualitätsmanagement

Leitlinien sollen eine gute Informationsgrundlage sein, eine Orientierung bieten und als Entscheidungshilfen den Transfer der bestverfügbareren Evidenz aus klinischen Studien und dem professionellen Konsens von Experten in den Versorgungsalltag fördern [65].

Zudem können Leitlinien insbesondere bei seltenen Notfällen konkrete Entscheidungs- und Handlungsprozesse unterstützen.

Für die Evaluation der Anwendung und Überprüfung der Implementierung dieser Leitlinie sollen Kennzahlen entwickelt und erfasst werden. Unter Berücksichtigung des Versorgungsablaufes sollen Parameter definiert werden, die Prozess-, Struktur- und gegebenenfalls Ergebnisqualität bewerten.

Die Leitliniengruppe hat im Folgenden Vorschläge für Indikatoren und Kennzahlen entworfen, die nach Veröffentlichung dieser Leitlinie weiterentwickelt und deren Anwendung etabliert werden müssen.

Hierfür könnten grundsätzlich sowohl administrative Routinedaten, beispielsweise aus den Datensätzen des DIVI-Notarztprotokolls und Notaufnahmeregisters [66] als auch gegebenenfalls Daten aus einem zu entwickelnden nationalen Register für die Hyperbare Sauerstofftherapie (HBOT) in Deutschland genutzt werden.

9.1 Präklinische Kennzahlen

Unter Berücksichtigung des Versorgungsablaufes wurden Parameter beschrieben und weiterhin Kennzahlen formuliert, siehe Tabelle 3.

1) 100% Sauerstoffatmung bei dem Verdacht eines Tauchunfalls
   --> „start oxygen“
   [Zeitintervall Diagnose bis Beginn Sauerstofftherapie]
2) Flüssigkeitsersatz 0,5–1 Liter Flüssigkeit / Stunde intravenös
   --> „start fluid“
   [Zeitintervall Diagnose bis Beginn Flüssigkeitsersatz]

9.2 Klinische Kennzahlen

Die Behandlung in der Notaufnahme beginnt mit der medizinischen Ersteinschätzung und endet mit der Verlegung beziehungsweise Entlassung eines Patienten aus der Notaufnahme.

Wird bei einem Patienten ein Tauchunfall diagnostiziert,

3) soll eine Symptomdokumentation zum Aufnahmezeitpunkt, eine Verlaufsdokumentation während der Notaufnahmebehandlung und eine Symptomdokumentation zum Entlassungs-/Verlegungszeitpunkt erfolgen.
   --> „documentation“
   [Dokumentation der Symptome]

4) soll ohne Zeitverzögerung mit höchstmöglicher Konzentration Sauerstoff begonnen beziehungsweise fortgesetzt werden.
--> „start oxygen“
[Zeitintervall Diagnose bis Beginn Sauerstofftherapie]

5) soll bei den Anzeichen eines schweren Tauchunfalls eine hyperbare Sauerstofftherapie durchgeführt werden.
--> „field to hbot time“
--> „hospital to hbot time“
[Zeitintervalle bis Beginn HBOT]

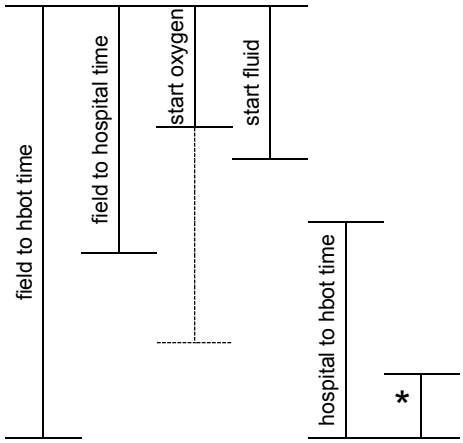
9.3 Poststationäre Kennzahlen

Wird ein Patient nach Tauchunfall mit Residuen verlegt, sollte im Verlegungsbericht auf die Notwendigkeit von Rehabilitationsmaßnahmen und einer weiteren, auch poststationären Verlaufsuntersuchung hingewiesen werden.

6) Patienten sollen nach einem Tauchunfall mit Residuen 4–6 Wochen auf Folgeschäden untersucht werden.
--> „outcome“

Tabelle 3: Parameter des Versorgungsablaufes mit Kennzahlen der Prozessqualität

1. Patientenalter
2. Geschlecht
3. Unfallzeitpunkt [Zeitstempel]
4. Ursache […]
5. Eintreffen Rettungsdienst [Zeitstempel]
6. Symptome Präklinik [neurologisch, kardial, andere]
7. 100% Sauerstoff Präklinik [ja/nein]
   [Demand, Reservoir, Kreislaufsystem, CPAP, Intubation, andere]
8. Flüssigkeitsersatz Präklinik [ja/nein]
9. Beginn Transport Rettungsdienst [Zeitstempel]
10. Transportart [bodengebunden, NA, RTH, Flugzeug, Boot, selbst]
11. Ankunft/Übergabe Krankenhaus [Zeitstempel]
12. Symptome Krankenhaus […]
13. 100% Sauerstoff durch Krankenhaus
    [Demand, Reservoir, CPAP, Intubation]
14. Beginn Verlegung
15. Ankunft Hyperbare Sauerstofftherapie (HBOT) [Zeitstempel]
16. Beginn HBOT [Zeitstempel]
17. Symptome nach HBOT […]
18. Untersuchung nach 4-6 Wochen
19. Outcome



* door to hbot time

9.4 Aktualisierungsplanung

Vor einer Aktualisierung soll die Anwendung und Implementierung der Leitlinie evaluiert werden.

11 Literatur

1 Mitchell SJ, Bennett MH, Moon RE. Decompression Sickness and Arterial Gas Embolism. N Engl J Med. 2022 Mar 31;386(13):1254-1264.

2 Kohshi K, Wong RM, Abe H, Katoh T, Okudera T, Mano Y. Neurological manifestations in Japanese Ama divers.Undersea Hyperb Med. 2005;32(1):11-20.

3 Schipke JD, Gams E, Kallweit O. Decompression sickness following breath-hold diving. Res Sports Med.2006;14(3): 163-178.

4 Hills BA, Butler BD. Size distribution of intravascular air emboli produced by decompression. Undersea Biomed Res. 1981;8:163-70.

5 Dunford RG, Vann RD, Gerth WA, Pieper CF, Huggins K, Wacholtz C, Bennett PB. The incidence of venous gas emboli in recreational diving. Undersea Hyperb Med. 2002;29:247-59.

6 Balldin UI, Pilmanis AA, Webb JT. Central nervous system decompression sickness and venous gas emboli in hypobaric conditions. Aviat Space Environ Med. 2004;75:969-72.

7 Cantais E, Louge P, Suppini A, Foster PP, Palmier B. Right-to-left shunt and risk of decompression illness with cochleovestibular and cerebral symptoms in divers: case control study in 101 consecutive dive accidents. Crit Care Med. 2003;31:84-8.

8 Hartig F, Reider N, Sojer M, Hammer A, Ploner T, Muth CM, Tilg H, Köhler A. Livedo Racemosa - The Pathophysiology of Decompression-Associated Cutis Marmorata and Right/Left Shunt. Front Physiol. 2020;11:994.

9 Germonpré P, Lafère P, Portier W, Germonpré FL, Marroni A, Balestra C. Increased Risk of Decompression Sickness When Diving With a Right-to-Left Shunt: Results of a Prospective Single-Blinded Observational Study (The "Carotid Doppler" Study). Front Physiol. 2021;12:763408.

10 Wilmshurst PT, Byrne JC, Webb-Peploe MM. Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers. Lancet. 1989;2:1302-6.

11 Dick EJ Jr, Broome JR, Hayward IJ. Acute neurologic decompression illness in pigs: lesions of the spinal cord and brain. Lab Anim Sci. 1997;47:50-7.

12 Brunner FP, Frick PG, Buehlmann AA. Post-Decompression Shock due to Extravasation of Plasma. Lancet. 1964;1:1071-3.

13 Zwirewich CV, Müller NL, Abboud RT, Lepawsky M. Noncardiogenic pulmonary edema caused by decompression sickness: rapid resolution following hyperbaric therapy. Radiology. 1987;163:81-2.

14 Hampson NB, Moon RE. Arterial gas embolism breathing compressed air in 1.2 metres of water. Diving Hyperb Med. 2020;50:292-294.

15 Iadecola C, Buckwalter MS, Anrather J. Immune responses to stroke: mechanisms, modulation, and therapeutic potential. J Clin Invest. 2020;130:2777-2788.

16 Newton HB, Burkart J, Pearl D, Padilla W. Neurological decompression illness and hematocrit: analysis of a consecutive series of 200 recreational scuba divers. Undersea Hyperb Med. 2008 ;35:99-106.

17 Xu W, Liu W, Huang G, Zou Z, Cai Z, Xu W. Decompression illness: clinical aspects of 5278 consecutive cases treated in a single hyperbaric unit. PLoS One. 2012;7:e50079.

18 Mitchell SJ, Bennett MH, Bryson P, Butler FK, Doolette DJ, Holm JR, Kot J, Lafere P. Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies. Diving Hyperb Med. 2018;48(1):45-55.

19 Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiberger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. Undersea Hyperb Med. 2007;34:43–9.

20 Krause KM, Pilmanis AA. The effectiveness of ground level oxygen treatment for altitude decompression sickness in human research subjects. Aviat Space Environ Med. 2000 Feb;71(2):115-8. PMID: 10685583.

21 Gempp E, Blatteau J-E, Pontier J-M, Balestra C, Louge P. Preventative effect of pre-dive hydration on bubble formation in divers. Br J Sports Med. 2009;43:224–8.

22 Fahlman A, Dromsky DM. Dehydration effects on the risk of severe decompression sickness in a swine model. Aviat Space Environ Med. 2006 Feb;77(2):102-6.

23 Balldin UI. Effects of ambient temperature and body position on tissue nitrogen elimination in man. Aerosp Med. 1973 Apr;44(4):365-70. PMID: 4694843.

24 Pendergast DR, Senf CJ, Fletcher MC, Lundgren CE. Effects of ambient temperature on nitrogen uptake and elimination in humans. Undersea Hyperb Med. 2015 Jan-Feb;42(1):85-94. PMID: 26094308.

25 Mitchell SJ, Doolette DJ, Wachholz C, Vann RD, editors. Management of mild or marginal decompression illness in remote locations. 2004 Workshop Proceedings. Washington, DC: Undersea and Hyperbaric Medical Society; 2005. https://www.uhms.org/uhm-search/management-of-mild-or-marginal-decompression-illness-in-remote-locations-workshop-proceedings/viewdocument/4040.html [abgerufen am 24.03.2022]

26 Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiberger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. Undersea Hyperb Med. 2007;34:43–9.

27 Krause KM, Pilmanis AA. The effectiveness of ground level oxygen treatment for altitude decompression sickness in human research subjects. Aviat Space Environ Med. 2000 Feb;71(2):115-8. PMID: 10685583.

28 Van Allen CM, Hrdina LS, Clark J. Air embolism from the pulmonary vein. Arch Surg. 1929;19:567–99.

29 Dutka AJ, Polychronidis J, Mink RB, Hallenbeck JM. Headdown position after air embolism impairs recovery of brain function as measured by the somatosensory evoked response in canines. Undersea Biomed Res. 1990;17(Suppl):64.

30 Polychronidis JE, Dutka AJ, Mink RB, Hallenbeck JM. Head down position after cerebral air embolism: effects on intracranial pressure, pressure volume index and blood-brain barrier. Undersea Biomed Res. 1990;17(Suppl):99. https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA233809 [abgerufen am 24.03.2022].

31 Trytko B, Mitchell SJ. Extreme survival: a deep technical diving accident. SPUMS Journal. 2005;35,23–7.

32 Mitchell SJ, Bennett MH, Bryson P, Butler FK, Doolette DJ, Holm JR, Kot J, Lafère P. Pre-hospital management of decompression illness: expert review of key principles and controversies. Diving Hyperb Med. 2018 Mar 31;48(1):45-55.

33 Moon RE, Mitchell S. Hyperbaric treatment for decompression sickness: current recommendations. Undersea Hyperb Med. 2019 Sep - Dec - Fourth Quarter;46(5):685-693. PMID: 31683368.

34 Keays FL. Compressed air illness, with a report of 3692 cases. Dept Med Pub Cornell Univ Med Coll. 1909;2:1–55.

35 Green JW, Tichenor J, Curley MD. Treatment of type I decompression sickness using the U.S. Navy treatment algorithm. Undersea Biomed Res. 1989;16:465–70

36 Moon RE, Sheffield PJ. Guidelines for treatment of decompression illness. Aviat Space Environ Med. 1997;68:234-243.

37 Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. Lancet. 2011;377(9760):153-164.

38 Yarbrough OD Behnke AR. The treatment of compressed air illness utilizing oxygen. J Industr Hyg Toxicol. 1939;21:213-8.

39 Van der Aue OE, White WA Jr, Hayter R, Brinton ES, Kellar RJ, Behnke AR. Physiological factors underlying the prevention and treatment of decompression sickness. Research Report NEDU TR 1–45. Washington DC: Navy Experimental Diving Unit; 1945. https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0756182.pdf [abgerufen am 24.03.2022].

40 Hart GB. Treatment of decompression illness and air embolism with hyperbaric oxygen. Aerosp Med. 1974;45:1190-1193.

41 Chin W, Joo E, Ninokawa S, Popa DA, Covington DB. Efficacy of the U.S. Navy Treatment Tables in treating DCS in 103 recreational scuba divers. Undersea Hyperb Med. 2017; 44(5):399-405.

42 Blanc P, Boussuges A, Henriette K, Sainty JM, Deleflie M. Iatrogenic cerebral air embolism: importance of an early hyperbaric oxygenation. Intensive Care Med. 2002;28(5):559-563.

43 Blatteau JE, Gempp E, Simon O, Coulange M, Delafosse B, Souday V et al. Prognostic factors of spinal cord decompression sickness in recreational diving: retrospective and multicentric analysis of 279 cases. Neurocrit Care. 2011;15:120–7.

44 Blatteau JE, Gempp E, Constantin P, Louge P. Risk factors and clinical outcome in military divers with neurological decompression sickness: influence of time to recompression. Diving Hyperb Med. 2011;41:129–34.

45 Hadanny A, Fishlev G, Bechor Y, Bergan J, Friedman M, Maliar A, Efrati S. Delayed recompression for decompression sickness: retrospective analysis. PLoS ONE. 2015;10(4): e0124919.

46 Hyldegaard O, Madsen J. Influence of heliox, oxygen, and N2O-O2 breathing on N2 bubbles in adipose tissue. Undersea Biomed Res. 1989 May;16(3):185-93. PMID: 2741253.

47 Hyldegaard O, Møller M, Madsen J. Effect of He-O2, O2, and N2O-O2 breathing on injected bubbles in spinal white matter. Undersea Biomed Res. 1991;18:361–71.

48 Hyldegaard O, Møller M, Madsen J. Protective effect of oxygen and heliox breathing during development of spinal decompression sickness. Undersea Hyperb Med. 1994 Jun;21(2):115-28.

49 Hyldegaard O, Kerem D, Melamed Y. Effect of combined recompression and air, oxygen, or heliox breathing on air bubbles in rat tissues. J Appl Physiol (1985). 2001 May;90(5):1639-47. doi: 10.1152/jappl.2001.90.5.1639.

50 Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiberger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. Undersea Hyperb Med. 2007 Jan-Feb;34(1):43-9.

51 Gennser M, Loveman G, Seddon F, Thacker J, Blogg SL. Oxygen and carbogen breathing following simulated submarine escape. Undersea Hyperb Med. 2014 Sep-Oct;41(5):387-92.

52 Loveman GA, Seddon FM, Jurd KM, Thacker JC, Fisher AS. First Aid Oxygen Treatment for Decompression Illness in the Goat After Simulated Submarine Escape. Aerosp Med Hum Perform. 2015 Dec;86(12):1020-7. doi: 10.3357/AMHP.4306.2015.

53 Köhler A, Zoll FM, Ploner T, Hammer A, Joannidis M, Tilg H, Finkenstedt A, Hartig F. Oxygenation Performance of Different Non-Invasive Devices for Treatment of Decompression Illness and Carbon Monoxide Poisoning. Front Physiol. 2022;13:885898.

54 Hoffmann U, Smerecnik M, Muth CM. Administration of 100% oxygen in diving accidents--an evaluation of four emergency oxygen devices. Int J Sports Med. 2001;22:424-9.

55 Kizer KW. Delayed treatment of dysbarism: a retrospective review of 50 cases. JAMA. 1982;247(18):2555-2558.

56 Meyers RAM, Bray P. Delayed treatment of serious decompression sickness. Ann Emerg Med. 1985;14:254-257.

57 Rudge FW, Shafer MR. The effect of delay on treatment outcome in altitude-induced decompression sickness. Aviat Space Environ Med. 1991;62:687-690.)

58 Weisher DD. Resolution of neurological DCI after long treatment delays. Undersea Hyperb Med 2008; 35: 159–61.

59 Ball R. Effect of severity, time to recompression with oxygen, and retreatment on outcome in forty-nine cases of spinal cord decompression sickness. Undersea Hyperb Med. 1993;20: 133-145.

60 Thalmann ED. Principles of US Navy recompression treatments for decompression sickness. In: Moon RE, Sheffield PJ, editors. Treatment of Decompression Illness. Kensington, MD: Undersea and Hyperbaric Medical Society; 1996. 75-95.

61 Navy Department. US Navy Diving Manual. Revision 7. Vol 5: Diving Medicine and Recompression Chamber Operations. NAVSEA 0910-LP-115-1921. Washington, DC: Naval Sea Systems Command; 2016.

62 Johnson WR, Roney NG, Zhou H, Ciarlone GE, Williams BT, Green WT, Mahon RT, Dainer HM, Hart BB, Hall AA. Comparison of treatment recompression tables for neurologic decompression illness in swine model. PLoS One. 2022;17(10):e0266236.

63 Janisch T, Stollenwerk A, Siekmann UP, Kopp R. Treatment of children with Hyperbaric Oxygenation (HBOT): an Europe-wide survey. Minerva Pediatr. 2020 Apr 9.

64 Ozyigit T, Egi SM, Denoble P, Balestra C, Aydin S, Vann R, Marroni A. Decompression illness medically reported by hyperbaric treatment facilities: cluster analysis of 1929 cases. Aviat Space Environ Med. 2010;81:3-7.

65 Muche-Borowski C, Kopp I. Medizinische und rechtliche Verbindlichkeit von Leitlinien. Z Herz- Thorax- Gefäßchir 2015; 29: 116–120.

66 Lucas B, Brammen D, Schirrmeister W, Aleyt J, Kulla M, Röhrig R, Walcher F. Requirements for a sustainable standardization and digitalization in clinical emergency and acute medicine. Unfallchirurg. 2019;122:243-246.

Versionsnummer: **6.0**

Erstveröffentlichung: **10/2002**

Überarbeitung von: **12/2022**

Nächste Überprüfung geplant: **11/2027**

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online