

S2k guideline for diving accidents

Abstract

For the purposes of this guideline, a diving accident is defined as an event that is either potentially life-threatening or hazardous to health as a result of a reduction in ambient pressure while diving or in other hyperbaric atmospheres with and without diving equipment.

This national consensus-based guideline (development grade S2k) presents the current state of knowledge and recommendations on the diagnosis and treatment of diving accident victims. The treatment of a breath-hold diver as well as children and adolescents does not differ in principle.

In this regard only unusual tiredness and itching without visible skin changes are mild symptoms.

The key action statements: on-site 100% oxygen first aid treatment, immobilization/no unnecessary movement, fluid administration and telephone consultation with a diving medicine specialist are recommended.

Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) remains unchanged as the established treatment in severe cases, as there are no therapeutic alternatives. The basic treatment scheme recommended for diving accidents is hyperbaric oxygenation at 280 kPa.

Keywords: diving accident, decompression sickness, decompression illness, arterial gas embolism, oxygen, hyperbaric oxygen therapy

Björn Jüttner¹
Christian Wölfel²
Claudio Camponovo²
Holger Schöppenthau³
Johannes Meyne⁴
Carmen Wohlrab⁵
Henning Werr⁵
Till Klein⁶
Giso Schmeißer⁷
Karsten Theiß⁸
Philipp Wolf⁹
Oliver Müller¹⁰
Thorsten Janisch¹⁰
Johannes Naser¹¹
Susanne Blödt¹²
Cathleen
Muche-Borowski¹²

- 1 German Diving and Hyperbaric Medical Society (GTÜM)
- 2 Swiss Underwater and Hyperbaric Medical Society (SUHMS)
- 3 German Interdisciplinary Association for Intensive Care and Emergency Medicine (DIVI)
- 4 German Recreational Divers Association (VDST)
- 5 Naval Medical Institute of the German Navy (SchiffMedInstM)
- 6 Association of German Hyperbaric Treatment Centers (VDD)
- 7 German Society for Occupational and Environmental Medicine (DGAUM)
- 8 German Life-Saving Society (DLRG)
- 9 German Red Cross (DRK), Water Rescue Service
- 10 German Society of Anaesthesiology and

Intensive Care Medicine
(DGA)

11 Professional Association of
German Anaesthesiologists
(BDA)

12 Association of the Scientific
Medical Societies in
Germany (AWMF)

1 Introduction

1.1 Objective

This guideline represents the current state of knowledge and recommendations on the diagnosis and treatment of diving accident victims with regard to:

- First aid by lay persons as well as treatment by medical assistants and physicians
- The sequence of rescue chain deployment and the transportation of diving accident victims
- Initial hyperbaric medical treatment of diving accident victims
- The further medical care of diving accident victims

1.2 Basic methodological principles

The methodological approach adopted in the development of the guideline is set out in the Guideline Report. This is freely available online, e.g., on the AWMF website (<http://www.awmf.org/>).

1.2.1 Definitions used for strengths of recommendation and consensus

1.2.1.1 Formulation of the strength of recommendations

- Strong recommendation: shall/shall not
- Recommendation: should/should not
- Open recommendation: can/can be dispensed with

1.2.1.2 Classification of strength of consensus

- Strong consensus: agreement between >95% of participants
- Consensus: agreement between >75–95% of participants
- Majority agreement: agreement between >50–75% of participants
- No consensus: agreement between <50% of participants

1.2.2 Period of validity and update procedure

This S2k guideline is valid until November 30, 2027. Regular updates are foreseen. If amendments are urgently required, these will be published separately. Comments and suggestions for the updating process are expressly desired and can be sent to the following address:

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

2 Definition, pathophysiology, and prevention

2.1 Definition

What is the definition of a “diving accident”?

For the purposes of this guideline, a “diving accident” is defined as an event that is either potentially life-threatening or hazardous to health as a result of a reduction in ambient pressure while diving or in other hyperbaric atmospheres with and without diving equipment.

– Yes: 11/11, no: 0, abstentions: 0

– Strength of consensus: 100% (strong consensus)

The suspected diagnosis of “diving accident” is likely in the presence of the following conditions [1]:

- breathing was performed using diving equipment under water, irrespective of the breathing gas/breathing gas mixture used (potentially only a single breath),

or

- breathing was performed using air that had collected under water (e.g., in a wreck or cave),

or

- breath-hold dives were performed (generally several deep dives) [2], [3] and
- mild and/or severe symptoms are present (see section 3).

Can the “diving accident” guideline be used for breath-hold diving?

If, following a dive, a breath-hold diver develops symptoms of a diving accident consistent with the definition applied herein, this guideline shall be used.

– Yes: 11/11, no: 0, abstentions: 0

– Strength of consensus: 100% (strong consensus)

There is no clear definition for the term “diving accident,” either nationally or internationally. Both in daily routine and in the literature this term is sometimes used to refer to all medical incidents and events occurring in temporal relation to diving. However, diving incidents need not necessarily be associated with hyperbaric exposure, e.g., myocardial infarction while diving. Likewise in the case of incidents associated with hyperbaric exposure, there is a broad range of relevant disorders, such as barotrauma and submersion pulmonary edema, over and above the diving accidents defined in this guideline.

As a general principle, one should assume that a diving accident has occurred in the event of a medical incident in temporal relation to diving.

A diving accident, according to the definition in this guideline, is characterized by the formation or introduction of gas bubbles in(to) blood and tissues. These processes can lead to decompression sickness. Other terms used in English include “decompression incident” or “decompression injury,” for which the internationally accepted abbreviation is “DCI.” In German, the term “decompression accident” (*Dekompressionsunfall*) is also used.

Irrespective of the mode in which they develop, diving accidents can be subdivided into:

- Decompression sickness (DCS)

and

- Arterial gas embolism (AGE)

(see Figure 1: Classification of diving accidents)

2.2 Etiology and pathophysiology

2.2.1 Decompression sickness

Bubble formation is assumed to be the primary mechanism of injury in decompression sickness. Divers absorb inert gas (nitrogen when breathing air) into their tissues when they inhale compressed gas during a dive. During ascent the partial pressure of the dissolved gas in tissue can exceed the ambient pressure (oversaturation), resulting in the formation of bubbles in these tissues or in the blood flowing through them.

The resulting venous bubbles, although small (19–700 µm) [4], are very common following dives [5] or rapid exposure to altitude [6]. They are normally filtered through pulmonary capillaries and are asymptomatic. However, venous gas bubbles can reach the arterial circulation by overwhelming the filtering capacity of the pulmonary capillary network or by crossing over through intrapulmo-

nary or intracardiac right-to-left shunts, such as atrial septal defects or patent foramen ovale (PFO).

The presence of a PFO increases the likelihood of decompression sickness in the brain, spinal cord, inner ear, and skin [7], [8], [9], presumably since tiny arterialized venous gas bubbles that enter the capillaries of oversaturated tissue following a dive grow through inert gas diffusion (nitrogen) [10].

The formation of bubbles in tissue can cause mechanical dysfunction and focal hemorrhage, particularly in the white matter of the spinal cord [11]. Even small intravascular bubbles can have physical sequelae involving inflammatory and thrombogenic responses. Intravascular bubbles can result in impaired regulation of vascular tone, plasma leaks, and hypovolemia [12]. As a result of this mechanism, a large number of venous gas bubbles can injure the pulmonary capillaries and lead to pulmonary edema [13].

2.2.2 Arterial gas embolism

AGE can occur in divers when compressed gas becomes trapped in the lungs and the ambient pressure drops during ascent to the surface. Expansion of the gas results in rupture of the alveolar capillary membrane as well as the entry of gas into the pulmonary vascular system. This can be caused by inadequate expiration of expanding gas from the entire lung or local disease such as bronchial obstruction or bullae.

Even slight differences in pressure on ascent from a depth of only 1 m can be causal here [14].

Large intraarterial bubbles can cause arterial occlusion, ischemia, and infarction. Secondary effects in the brain following bubble-induced ischemia are likely to be similar to processes that occur after a stroke, including the release of excitatory neurotransmitters, oxidative stress, inflammation, and an immune response [15].

2.3 Prevention

Despite adhering to all safety standards when diving, it is not possible to completely rule out the occurrence of a diving accident. Prevention involves the diver assuming a high degree of personal responsibility. In order to meet this requirement and to be able to make appropriate decisions, the diver must be aware of the relevant influencing factors and their effects, as well as the options to correct these where necessary.

All dives should be preceded by dive training and dive planning that is appropriate to the dive.

Regular skills training (including self and third-party rescue) and general physical fitness form an important basis for safe diving.

Fundamental to any assessment is a medical history, which depends to a crucial extent on truthful information from the diver, as well as a qualified diving medical examination (“diving fitness”); this consists of a clinical examination and instrument-based examinations (e.g., ECG, stress ECG where appropriate, lung function, otoscopy).

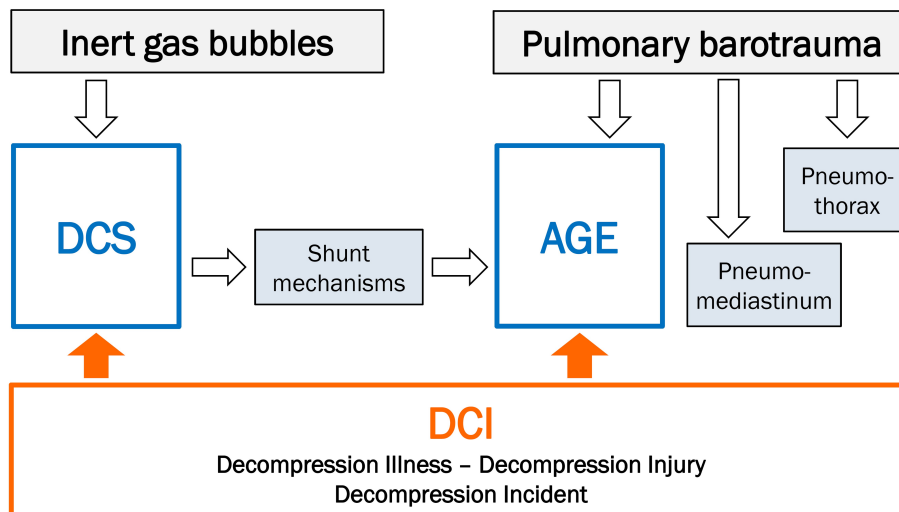


Figure 1: Classification of diving accidents

In addition to the detection of absolute contraindications (e.g., seizure disorders, impaired cardiovascular performance), a proactive consultation is also a key component of any diving medical examination. This consultation always includes general aspects for all divers as well as individual aspects arising from possible risk factors or examination findings.

The general consultation is complementary to the contents of the diver training and should include, for example, the aspect of dehydration risk (lack of fluid intake, fluid loss through sweating and/or diarrhea, etc.) or information on temperature balance and behavior in the case of transient sicknesses. Depending on the diver being examined, the individual part of the consultation is multi-layered and can include subjects such as behavior in the case of overweight (e.g., ensuring adequate physical fitness and following the “low bubble diving” rule), sea sickness, chronic diseases, and medication, not least depending on the planned dive. In the case of relative contraindications, a discussion should be had with the diver regarding how this increased risk for a diving accident can be reduced by appropriate measures.

The dive itself can be made safer through good and conservative dive planning, e.g., according to the low-bubble diving rule.

Prior to each dive, the diver also needs to assess his or her own health status to determine whether factors that hinder safety are present.

Behavior following a dive can also affect the risk for the occurrence of a diving accident. For example, increased physical exertion (difficult exit from the water or carrying heavy pieces of equipment) or short intervals before subsequent flights increase the risk of bubbles being released and circulated.

3 Symptoms and diagnosis

Which examination methods are suitable for the diagnosis, differential diagnosis, and follow-up of a decompression accident?

All new-onset symptoms after a dive shall be considered as a possible diving accident unless some other mechanism of onset is apparent.

- Yes: 11/11, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)

The suspected diagnosis of “diving accident” should be made on the basis of symptoms, taking into consideration the dive and any pre-existing problems or diseases. A physician¹ trained in diving medicine should be consulted as soon as possible.

- Yes: 11/11, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)

Diving accident victims should be closely monitored for the onset of symptoms or worsening of existing symptoms.

- Yes: 11/11, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)

Diving accident victims shall undergo in particular a neurological examination as soon as possible. An initial neurological examination shall already be carried out by first aiders, assuming this does not hinder further care.

- Yes: 10/10, no: 0, abstentions: 1
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)

The broad diversity in the clinical picture of DCI hampers diagnosis.

The diagnosis of DCI and any differential diagnoses that may need to be taken into account need to be assessed on the basis of clinical symptoms.

Complementary technical investigations are not required for the diagnosis of DCI. However, these may be needed in order to distinguish between differential diagnoses.

Due to the frequency of neurological symptoms [16], [17], all divers in whom a diving accident is suspected should undergo a neurological examination. A lay examination by first responders according to a predefined examination procedure (see Attachment 1) can enable early recogni-

tion of neurological symptoms as well as follow-up documentation of symptom severity.

On completion of a dive, symptoms of a diving accident can rapidly change before and after the initiation of treatment; therefore, follow-up examinations are required.

Which classification is suitable for the assessment of severity of a diving accident?

The treatment approach differs depending on whether symptoms are mild or severe. Therefore, this guideline classifies diving accident severity according to this classification (see section 3.1 and 3.2).

– Yes: 10/10, no: 0, abstentions: 0

– Strength of consensus: 100% (strong consensus)

The international literature describes a number of classifications of diving accidents. The best known of these remains the traditional classification that is still used worldwide today, which subdivides decompression accidents into DCS I: bends, pain only, mild, minor symptoms, DCS II: severe, serious, major symptoms, and arterial gas embolism (AGE). Modified classifications that also distinguish between “mild symptoms” and “serious symptoms” have been advocated.

The classification into mild symptoms and severe symptoms used in this guideline differs from the majority of classifications in international use in order to adequately treat patients with apparently “milder” symptoms both consistently and at an early stage, thereby avoiding late sequelae or complications.

This guideline classifies diving accident severity according to the following classification.

3.1 Mild symptoms

- Unusual tiredness
- Itching without visible skin changes

3.2 Severe symptoms

- Visible spots and changes on the skin
- Tingling (e.g., formication)
- Numbness
- Subcutaneous swelling (lymphatic symptoms)
- Limb pain (bends)
- Pain around the midriff
- Paralysis
- Bladder dysfunction
- Impaired coordination and gait
- Impaired vision, hearing, and speech
- Dizziness
- Nausea
- Impaired consciousness
- Physical weakness
- Difficulty breathing
- Cardiovascular problems (chest tightness, shock)

Which other diving-related health impairments should be taken into consideration in the differential diagnosis of diving accidents?

In addition to decompression sickness and AGE, a number of other diving-related disorders can occur, including:

- Barotrauma to the sinuses, as well as the middle, outer, or inner ear
- Barotrauma to other air-filled cavities in or on the diver’s body (e.g., mask)
- (Tension) pneumothorax
- Pneumomediastinum
- Submersion pulmonary edema
- Alternobaric vertigo
- Drowning accident
- Hypothermia

4 Treatment

In the case of diving accidents, diving partners, safety divers, diving group leaders, and diving instructors are usually at the scene to carry out first aid measures.

The success of initial measures as well as the further treatment depends to a crucial extent on first-aid measures being carried out rapidly and correctly.

Requirements [18]:

- Appropriate training completed by all divers
- Availability of emergency equipment tailored to the dive plan
- A diving accident plan (diving emergency plan, telephone numbers)
- Reliable means of communication

4.1 First-aid measures

Which measures are first-aiders recommended to take?

Measures for mild symptoms (see Figure 2)

- *Immediate breathing of 100% oxygen or breathing gas with the highest available oxygen content irrespective of the gas mix used during diving* [19], [20] (see section 4.4)
- *Checking consciousness, ability to move, and perception (e.g., “Basic neurological assessment for divers,” see Attachment 1)*
- *Divers that are able to drink unaided should be encouraged to drink 0.5–1 l fluids/h* [18], [21], [22] (preferably isotonic, non-carbonated beverages/no alcoholic beverages)
- *Protect against both cooling down and overwarming* [23], [24]
- *No in-water recompression*
- *Continue 100% oxygen breathing until a diving medicine specialist can be consulted, even if the diver is symptom-free within 30 min*
- *Telephone consultation with a diving medicine specialist* [18] (see section 4.2)
- *Document the chain of events of the diving accident and measures taken*
- *If symptoms persist unchanged after 30 min or recur, treat as severe symptoms*

- Observe diver for 24 h following resolution of mild symptoms [18], [25]

Diving partners may also develop symptoms in the further course. They should be observed for mild or severe symptoms and, if necessary, included in further diagnostic and therapeutic measures.

Measures for severe symptoms (see Figure 2)

In the case of unconscious divers without identifiable independent breathing, the recommendations on resuscitation measures according to the current international guidelines apply².

- Cardiopulmonary resuscitation (basic life support)

Diving accident-specific first aid

- Immediate breathing of 100% oxygen or breathing gas with the highest available oxygen content irrespective of the gas mix used during diving [26], [27] (see section 4.4)
- Check consciousness, ability to move, and perception (e.g., “Basic neurological assessment for divers,” see Attachment 1)
- Positioning [18], [23], [28], [29], [30]:
- Lateral recumbent position if consciousness impaired
- Immobilization/no unnecessary movement
- No head-down positioning

– Yes: 10, no: 0, abstentions: 0

– Strength of consensus: 100% (strong consensus)

4.2 Telephone consultation with a diving medicine specialist

A physician¹ trained in diving medicine should be consulted as to whether hyperbaric oxygen therapy (HBOT) is required and how urgent this is. These decisions generally lie beyond the scope of medical laypersons and physicians without diving medical training.

- National Divers Alert Network (DAN) hotline for Germany and Austria:
00800 326 668 783 (00800 DAN NOTRUF)
- National DAN hotline for Switzerland (via REGA):
+41 333 333 333 (or 1414 for calls within Switzerland)
- VDST hotline:
+49 69 800 88 616
- Naval Medical Institute of the German Navy (SchiffMedInstM):
+49 431 5409 1441
- aqua med diving hotline:
+49 421 240 110-10
- International DAN hotline:
+39 06 4211 8685 or 5685

Please use the code “Diving Accident” for all phone numbers.

An up-to-date list can be found on the GTÜM website (see <http://www.gtuem.org>).

4.3 Measures for medical personnel

Which measures are medical professionals recommended to take?

Initial examination and measures according to the ABCDE approach.

Resuscitation measures shall be performed in line with current international guidelines²:

- Advanced life support
- Exclusion/treatment of tension pneumothorax

Diving accidents can result in drowning accidents, which then require specific treatment.

Measures for mild symptoms are the same as those undertaken by first responders.

Diving accident-specific measures for severe symptoms (see Figure 2)

- Immediate breathing of 100% oxygen or breathing gas with the highest available oxygen content irrespective of the gas mix used during diving (see section 4.4)
- Airway management
 - In the case of insufficient oxygenation and adequate vigilance, a continuous positive airway pressure noninvasive ventilation (CPAP/NIV) mask or nasal high-flow oxygen therapy should be preferred over intubation for an ongoing neurological assessment
- Fluid replacement
 - 0.5–1 l intravenous fluids/h [18], [31] (preferably full electrolyte solution)
- Positioning [18], [23], [28], [29], [30]:
 - Patient positioning according to emergency medical standards
 - Patient immobilization/no unnecessary movement
- Drugs
 - With the exception of oxygen, there are no drugs for which there is clear scientific evidence of efficacy in the treatment of diving accidents. All drugs administered as part of advanced life support shall be used in line with the indication.
- No in-water recompression
- Other measures
 - As a basic principle, methods in accordance with emergency medicine standards
 - Clinical and neurological examinations to be carried out as soon as possible and during follow-up
 - Monitoring
 - If necessary, urinary catheter
 - Protection against both cooling down and overwarming. In the case of hypothermia, no active rewarming, since this can exacerbate the symptoms of a diving accident
 - Telephone consultation with a diving medicine specialist (see section 4.2)
 - In the case of severe symptoms, initiate HBOT as rapidly as possible³
 - HBOT is required in the majority of cases, even if treatment initiation is delayed

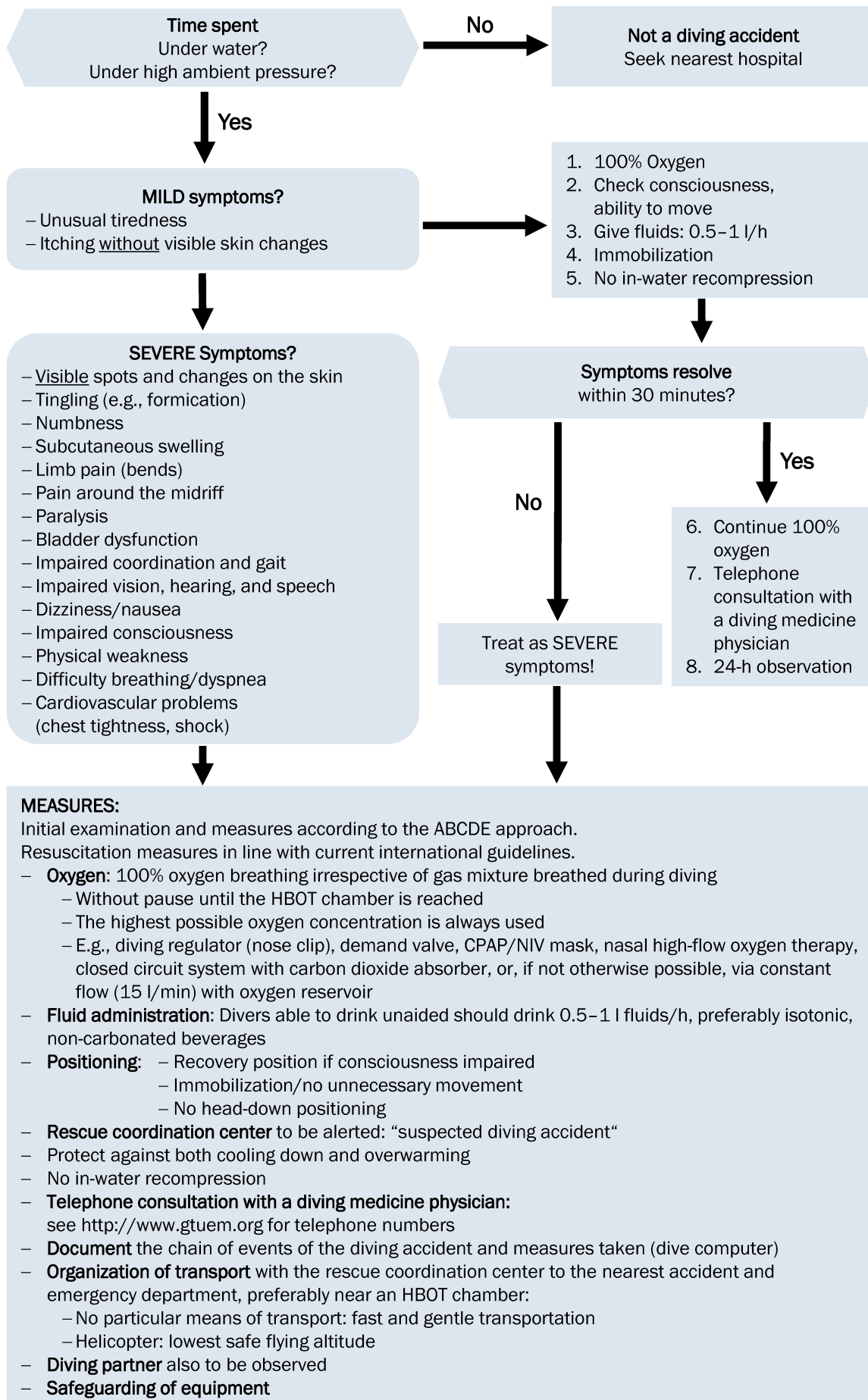


Figure 2: Flow diagram “First aid in diving accidents”

- Documentation of dive data (dive computer), the course of symptoms, and the treatment measures performed
- Assess whether diving partner also needs to be examined and possibly treated by a physician¹ trained in diving medicine

– Yes: 7, no: 0, abstentions: 0
 – Strength of consensus: 100% (strong consensus)
 – This vote was held with and without members of the guideline group with conflicts of interest regarding the recommendations on HBOT. Strong consensus emerged for the recommendations listed here with and without abstentions (10 of 10).

Are there alternative and/or complementary treatment methods to HBOT (including drugs, statement on in-water recompression [IWR])?

There are no alternative treatment methods to HBOT³. With the exception of oxygen, there are no drugs for which there is clear scientific evidence of efficacy in the treatment of diving accidents. All drugs administered as part of advanced life support shall be used in line with the indication.

IWR should not be performed. This is reserved for professional teams with appropriate training, experience, as well as personnel and equipment if a hyperbaric chamber cannot be reached within a matter of hours in the case of a life-threatening diving accident [32], [33].

– Yes: 7, no: 0, abstentions: 0
 – Strength of consensus: 100% (strong consensus)
 – This vote was held with and without members of the guideline group with conflicts of interest regarding the recommendations on HBOT. Strong consensus emerged for the recommendations listed here with and without abstentions (10 of 10).

HBOT has remained unchallenged as a treatment method for diving accidents ever since the first cases were described [34], [35], [36], [37]. With the establishment of oxygen therapy during this treatment, HBOT represents the worldwide treatment standard today [38], [39], [40], [41]. Delayed initiation of recompression therapy, especially if longer than 6 h, increases the risk of irreversible damage [25], [42], [43], [44], [45].

4.4 Oxygen therapy/oxygen administration (normobaric oxygenation)

Which method of oxygen administration should be preferred?

For the administration of oxygen, the method that delivers the highest proportion of oxygen available for breathing or ventilation of the victim should be selected. The conservation of resources plays a secondary role here.

– Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
 – Strength of consensus: 100% (strong consensus)

How should oxygen be administered?

Oxygen administration (normobaric oxygenation)

The causal treatment of diving accidents consists of breathing pure oxygen [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52] (FiO₂ 1.0, “100%”).

Even in the event that the O₂ supply is limited, O₂ in the highest available concentration shall always be administered, accepting that transport may need to be completed with air breathing.

Time delays need to be avoided. Immediate 100% oxygen breathing is irrespective of the gas mix used during diving.

- If the victim’s independent breathing is sufficient, respiration of 100% oxygen (verify addition of oxygen) with:

- Diving regulator (nose clip) [53]
- Demand valve [54]
- CPAP/NIV mask (consider risk in suspected pneumothorax)
- Nasal high-flow (NHF)/high-flow (HFOT)/high-flow nasal cannula (HFNC) oxygen therapy [53]
- Closed circuit system with carbon dioxide absorber
- If no better systems are available, via constant flow (15–25 l/min, non-rebreathing mask with oxygen reservoir)

- If the victim’s independent breathing is not sufficient, airway management in accordance with emergency medicine standards and artificial respiration (assisted or controlled) with 100% oxygen via:

- Exclusion/treatment of tension pneumothorax
- CPAP/bi-level PAP (BiPAP) (consider risk in suspected pneumothorax)
- Closed circuit system with carbon dioxide absorber
- If no better systems are available, bag valve mask with demand valve or oxygen reservoir bag and constant flow (at least 15 l/min)

The administration of 100% oxygen shall be continued without pause until the HBOT chamber is reached.

– Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
 – Strength of consensus: 100% (strong consensus)

4.5 Transport

Which means of transport are suitable for diving accident victims (vehicle, helicopter, aircraft, boat)?

There is no general preference for a particular means of transport. Bearing in mind the total time required for transport, the fastest and most gentle means of transport shall be used.

- Helicopter (lowest safe flying altitude)
- Ground-based rescue vehicles (risk posed by a further drop in pressure when driving over mountain passes)
- Boat

– Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
 – Strength of consensus: 100% (strong consensus)

All available information, such as documentation of dive data (diving computer), course of symptoms, and previous treatment measures shall remain with the diving accident victim.

- Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)
- Organization of means of transport via the rescue coordination center
- Transport destination: nearest suitable and accessible accident and emergency department, preferably near an HBOT chamber that meets the standards set out by the GTÜM.

4.5.1 Treatment during transportation

Clinical and orienting neurological examination to be regularly repeated.

4.6 Hyperbaric oxygen therapy

When is HBOT indicated following a diving accident?

The initial HBOT treatment shall take place as soon as possible. Even delayed treatment initiation (even after days) can achieve an improvement in symptoms [45], [55], [56], [57], [58].

The indication for HBOT is met in the case of:

- Mild symptoms that do not resolve even after 30 min breathing 100% pure oxygen
- Severe symptoms (HBOT always indicated)

- Yes: 7, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)
- This vote was held with and without members of the guideline group with conflicts of interest regarding the recommendations on HBOT. Strong consensus emerged for the recommendations listed here with and without abstentions (10 of 10).

4.6.1 Measures prior to initial HBOT treatment

Imaging is not routinely required. If pneumothorax is suspected, imaging shall be performed.

- Chest X-ray
- Ultrasound or
- Computed tomography

If a further diagnostic work-up according to emergency medicine standards is urgently indicated to rule out other causes of the victim's condition, the delay to HBOT should be as short as possible.

The following measures may be required:

- Pleural drainage
- Paracentesis in unconscious patients if this can be performed by an expert without a time delay
- Urinary catheter

4.6.2 Treatment tables

Which treatment tables should be used?

The standard treatment table is the 'US Navy Treatment Table 6' [41], [45], [59], [60], [61], [62] or modifications thereof with an initial treatment pressure of 280 kPa (see Figure 3).

- Yes: 7, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)
- This vote was held with and without members of the guideline group with conflicts of interest regarding the recommendations on HBOT. Strong consensus emerged for the recommendations listed here with and without abstentions (10 of 10).

Does the treatment method depend on the breathing gas used?

The standard 'US Navy Treatment Table 6' shall be used for all diving accidents, irrespective of the breathing gas used by the diving accident victim.

- Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)

HBOT can be shortened in the case of complete resolution of the symptoms listed below within the first 10 min of hyperbaric oxygenation at 280 kPa.

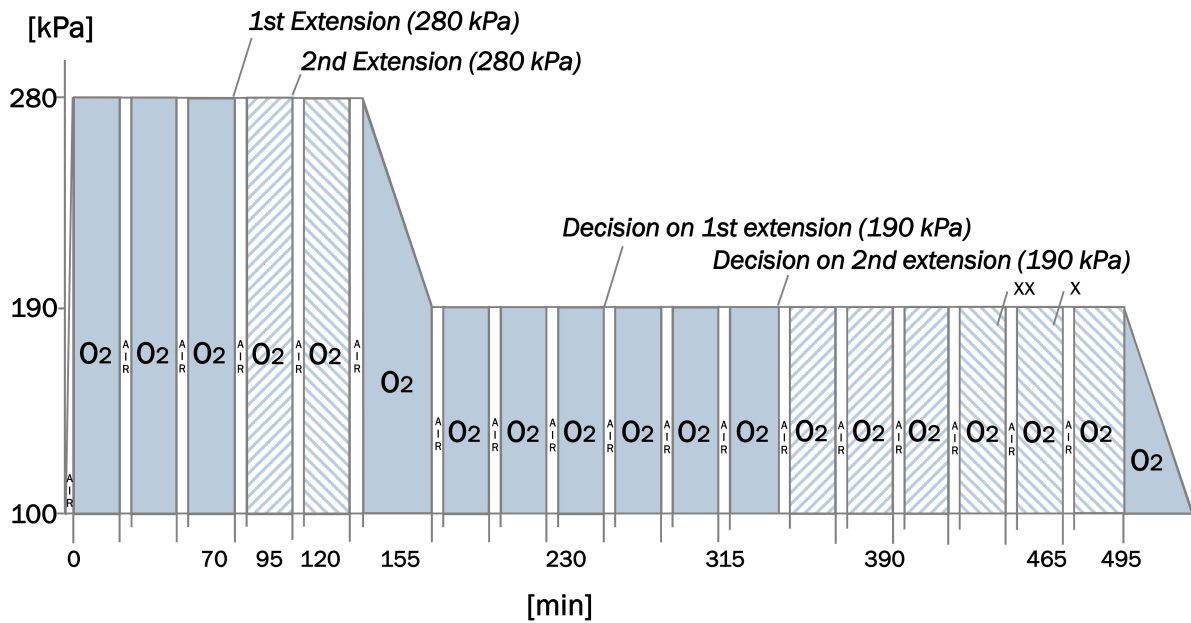
- Constitutional or nonspecific symptoms: marked tiredness
- Cutaneous symptoms: skin changes, skin bends
- Lymphatic symptoms: local swelling
- Musculoskeletal symptoms: joint and limb pain
- Mild subjective peripheral neurological sensory disturbances without identifiable pathological findings

In such cases, treatment can be shortened in line with 'US Navy Treatment Table 5' or similar tables. However, it is essential that no additional symptoms are (or have been) present.

If complaints or symptoms fail to (completely) resolve under hyperbaric oxygenation, the initial HBOT treatment is prolonged. At a treatment pressure of 280 kPa, a maximum of two 25-min extensions (20 min oxygen breathing and 5 min air breathing) are performed; at a treatment pressure of 190 kPa, a maximum of two 75-min extensions (3x 20 min oxygen breathing and 3x 5 min air breathing) are also performed.

- If the treated diver is not almost symptom-free after 60 min (3x 20 min) of oxygen breathing at the initial treatment pressure of 280 kPa, an initial extension of 20 min oxygen breathing and 5 min air breathing is performed at this treatment pressure.
- If the treated diver is not almost symptom-free after 80 min (4x 20 min) oxygen breathing at 280 kPa, a second extension of 20 min oxygen breathing and 5 min air breathing is performed. Decompression is then performed to 190 kPa according to 'US Navy Treatment Table 6'.

US Navy Treatment Table 6
Modified from SchiffMedInstM/GTÜM



- X Oxygen breathing for attendant during the last 30 min to 190 kPa and during decompression to the surface if no or an extension of the treatment table was performed.
- XX Oxygen breathing for attendant during last 60 min to 190 kPa and during decompression to the surface if two or more extensions of the treatment table were performed.

Figure 3: Modified “US Navy Treatment Table 6”

- If the treated diver is not almost symptom-free after 60 min (3x 20 min) oxygen breathing at a treatment pressure of 190 kPa, a third extension of a further 60 min (3x 20 min) oxygen breathing and 15 min (3x 5 min) air breathing is then performed after a total of 120 min (6x 20 min) oxygen breathing at this pressure.
- If the treated diver is not almost symptom-free after 60 min (3x 20 min) oxygen breathing at a treatment pressure of 190 kPa, a third extension of a further 60 min (3x 20 min) oxygen breathing and 15 min (3x 5 min) air breathing is then performed after a total of 120 min (6x 20 min) oxygen breathing at this pressure. After a total of 240 min oxygen breathing at 190 kPa, decompression to ambient pressure is then performed according to ‘US Navy Treatment Table 6’.

Other treatment tables, in particular tables with longer treatment times and higher treatment pressures, as well as mixed gas and saturation treatment tables, should be reserved for centers and personnel with special experience, knowledge, and suitable equipment that allow them to deal with adverse events and outcomes. Oxygen-enriched breathing gas mixtures are to be used for all treatment tables.

If HBOT is indicated in the case of inadequate decompression without symptoms, shorter treatment tables are

possible, for example, ‘US Navy Treatment Table 5’ or the ‘Problem Wound Treatment Protocol’ (see Figure 4). If initial HBOT fails to achieve an improvement, the differential diagnosis needs to be reviewed.

4.6.3 Measures during initial HBOT

- Neurological check-ups, e.g., during air breathing phases, should always be repeated before deciding whether extensions of the treatment table may be necessary (documentation!).
- Repeated clinical examination and lung auscultation (pneumothorax? bilaterally equal ventilation?), particularly following pressure drops in the treatment table
- Regular inspection of all sealed air-filled cavities in medical devices (e.g., endotracheal tube cuff, infusion, drip chamber, blood pressure cuff), always before and during pressure reductions in the treatment table
- As a basic principle, methods in accordance with emergency medicine standards
- Fluid balancing
- With the exception of oxygen, there are no drugs for which there is clear scientific evidence of efficacy in the treatment of diving accidents.
- Document all measures performed for transfer to continuing-care providers/physicians.

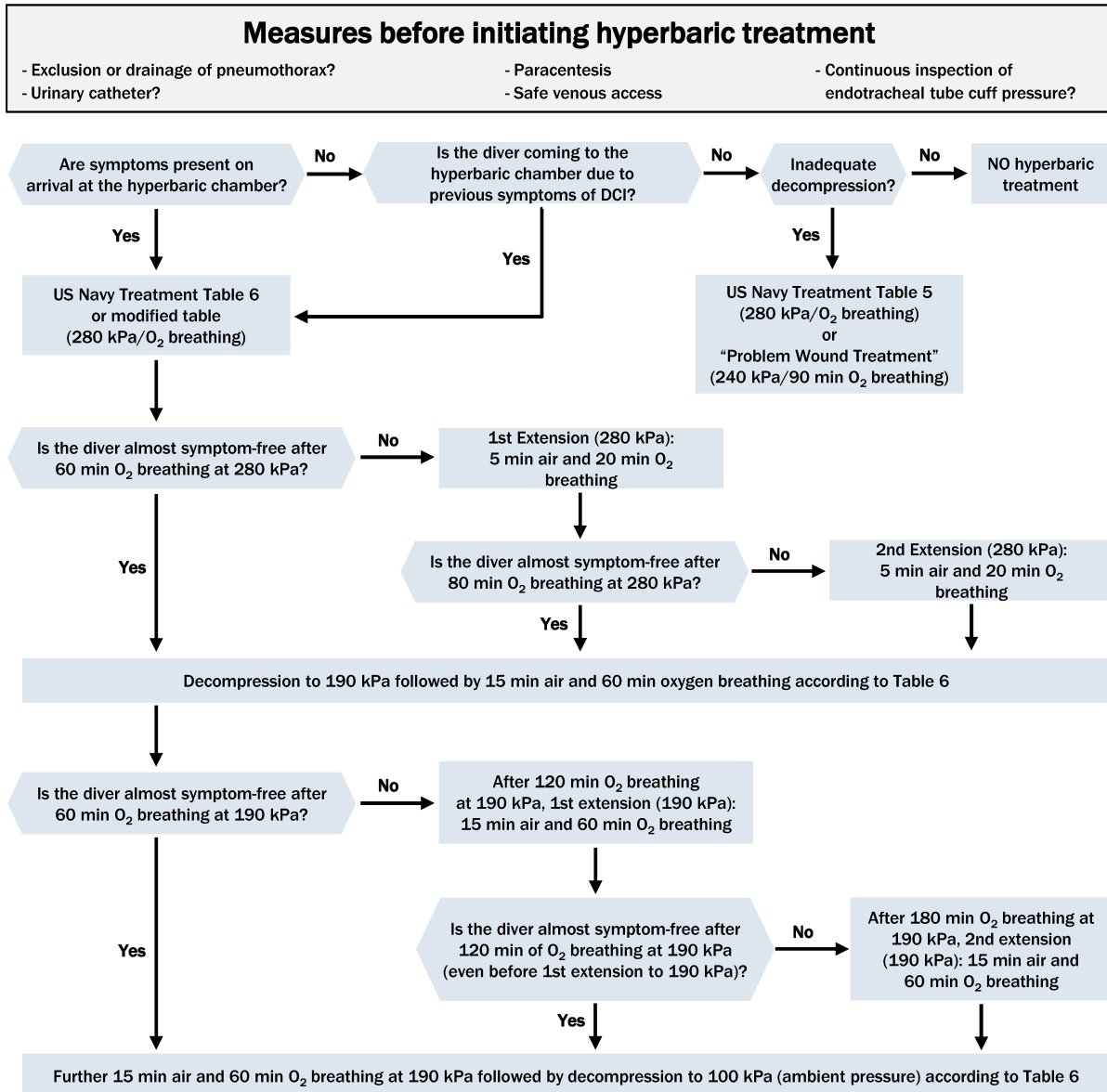


Figure 4: Flow diagram “Initial hyperbaric oxygen treatment in diving accidents”

4.6.4 Measures following initial HBOT

What treatment do patients receive between HBOT treatments?

All patients should remain under observation for at least 24 h following the initial HBOT treatment.

If the patient is in a critical condition, intensive care may be necessary.

Between HBOT treatments, supplemental oxygen is administered only if blood oxygen is low (hypoxemia). Elevated oxygen levels are not targeted.

Further treatment is carried out according to the clinical picture and in accordance with the specialties involved.

- Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)

- Earliest possible start of intensive specific treatment and rehabilitation measures if feasible to accompany HBOT.

- There is no evidence for a benefit from physiotherapy during HBOT versus physiotherapy alone between HBOT treatments.
- Pharmacological and further treatment is carried out according to the clinical picture and in accordance with the specialties involved.

4.6.5 Further HBOT treatments

Are follow-up HBOT treatments recommended?

If symptoms are still present following the initial HBOT treatment, a follow-up session should take place within 24 h.

- Yes: 7, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)
- This vote was held with and without members of the guideline group with conflicts of interest regarding the recommendations on HBOT. Strong consensus emerged

for the recommendations listed here, with and without abstentions (10 of 10).

- At least 1x daily HBOT, e.g., according to the Problem Wound Treatment Protocol [33].
- If severe neurological symptoms persist, a second HBOT treatment can also be considered according to the standard 'US Navy Treatment Table 6'.
- Other treatment tables should be reserved for centers and personnel with special experience, knowledge, and suitable equipment that allow them to deal with adverse events and outcomes.

4.6.6 Intervals between HBOT treatments

- No more than 24 h, but no more than two sessions within 24 h

4.6.7 Further diagnostic work-up/follow-up examinations according to clinical symptoms

- Magnetic resonance imaging (MRI)
- Computed tomography (CT)
- Specialist neurological consultations (regularly)
- Further specialist medical consultations according to symptoms and organ systems affected

4.6.8 Decision-making on discontinuation of HBOT

- HBOT can be discontinued following complete and lasting freedom from symptoms.
- If, after several treatments, there is no further improvement in symptoms over 3–5 days after an initial improvement under continued treatment, HBOT should be discontinued.

4.7 Treatment of children and adolescents

What is the treatment for children and adolescents?

Diving accidents according to the definition in this guideline are rarer in children and adolescents than in adults. Their treatment does not differ significantly from that of adults.

Treatment primarily consists of high-dose oxygen administration, and if necessary, timely HBOT. Fluid and drug dosage shall be age- and weight-adjusted.

Suitable and tailored equipment shall be available to perform treatment.

The treatment of children and adolescents should be carried out in an age-dependent manner in collaboration between a physician experienced in pediatric (intensive) care and the HBOT center [63].

– Yes: 10, no: 0, abstentions: 0

– Strength of consensus: 100% (strong consensus)

4.8 Transfer (secondary transport)

If symptoms persist following initial HBOT, further treatments may need to be carried out within 24 h if the diagnosis is confirmed. If on-site inpatient medical care is not available between HBOT treatments, the patient must be transported to an appropriately equipped treatment center³. The means of transport is chosen taking into account the patient's status, the distance and time to the center, and the possible "means of transport."

- Helicopter
- Air ambulance
- Passenger aircraft
- Boat
- Land-based rescue vehicles

There is no reliable data to support a blanket requirement for transport under 1-bar conditions for secondary transportation. Aircraft with normal cabin pressure (e.g., 0.8 bar absolute) are much faster and easier to organize. There is evidence that DCI recurrences following HBOT are more common during or after a flight than in patients that do not fly. There is also evidence that the onset of symptoms of higher severity is not expected during a flight and that treatment prospects are not worsened.

Transport by air at normal cabin pressure (e.g., 0.8 bar absolute) does not represent a fundamental obstacle to the transportation of patients following HBOT.

The decision to use this means of transport should be made based on: a) the previous course of decompression sickness and b) the severity of ongoing symptoms. There are no uniform international recommendations specifying the time interval after which, and after how many HBOT treatments, DCI patients should be transported by air and at what cabin pressure. These decisions should be made on a case-by-case basis in consultation with experienced diving physicians.

4.8.1 Medical care during secondary transport

The need for and extent of medical care during transportation depends on the severity of the clinical picture.

- Procedures according to emergency medicine/intensive care standards
- Oxygen breathing must be possible
- Fluid balancing
- Clinical and neurological monitoring
- Documentation, e.g., emergency physician/intensive care transport protocol
- Patients with no or minimal residual symptoms following primary treatment can be transported on a normal scheduled flight.

5 Rehabilitation

Which rehabilitation measures are recommended following a decompression incident?

Following a diving accident, the specialty and form (outpatient, inpatient) of a rehabilitation measure should be determined on the basis of the specific functional impairment and its extent.

- Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)
- Diving accidents can lead to neurological, psychological, cardio-circulatory, pulmonary, constitutional, and orthopedic impairments [64], [17]. Neurological symptoms are often the cause of lasting physical impairments.
- Extent and type, or extent of functional impairment, are central to the choice of rehabilitation measure.
- There are neither specific rehabilitation programs for diving accident patients nor studies on rehabilitation programs for diving accident victims.
- Type, duration, and intensity of rehabilitation measures following a diving accident are based on comparable disorders of other etiology.

6 Fitness to dive following a diving accident

How should fitness to dive be assessed following a diving accident?

The assessment of fitness to dive following a diving accident shall be made in accordance with the recommendations of the national and international specialist societies for diving medicine or, where applicable, the relevant national legislation.

- Yes: 10, no: 0, abstentions: 0
- Strength of consensus: 100% (strong consensus)

The precondition for a re-assessment of fitness to dive is the definitive completion of diving accident therapy and the stability of the treatment outcome, even in the case of residual effects.

Any re-assessment of fitness to dive shall be carried out by an experienced physician¹ with advanced training in diving medicine. They are additionally required to have practical experience in the treatment of diving accidents. For commercial divers, special national legal provisions apply, including the associated occupational medical screening and fitness-to-dive tests.

7 Quality management

Guidelines are intended to form a good information basis, provide orientation and, as decision-making aids, promote the transfer of the best available evidence from clinical

studies and the professional expert consensus into everyday care [65].

Guidelines can also support concrete decision-making and action processes, particularly in rare emergencies. Metrics will be developed and recorded in order to evaluate the application and verify the implementation of this guideline. Taking into consideration the treatment workflow, parameters are to be defined that evaluate process, structure, and, if necessary, outcome quality.

In the following, the guideline group has drawn up proposals for indicators and parameters that will be further developed and whose application will become established following the publication of this guideline.

To this end, it would be possible in principle to use routine administrative data, e.g., from the data sets of the DIVI emergency physician protocol and emergency admission register [66], as well as, if necessary, data from a national HBOT registry in Germany that is to be developed.

7.1 Pre-hospital performance indicators

Taking into consideration the treatment workflow, parameters have been described and performance indicators formulated (see Table 1).

1. 100% oxygen breathing in the case of a suspected diving accident
→ “start oxygen”
[time interval: diagnosis to initiation of oxygen therapy]
2. Fluid replacement 0.5–1 l fluids/h intravenously
→ “start fluid”
[time interval: diagnosis to initiation of fluid replacement]

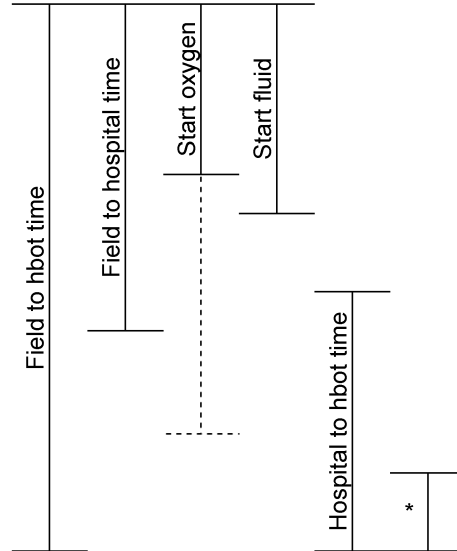
7.2 In-hospital performance indicators

Treatment in the emergency department begins with the initial medical assessment and ends with the transfer or discharge of a patient from the emergency department. If a diving accident is diagnosed in a patient,

3. symptoms shall be documented at the time of admission, progress documented during emergency room treatment, and symptoms documented at the time of discharge/transfer.
→ “documentation”
[documentation of symptoms]
4. the highest possible oxygen concentration shall be initiated or continued without delay.
→ “start oxygen”
[time interval: diagnosis to initiation of oxygen therapy]
5. HBOT shall be performed if there are signs of a severe diving incident.
→ “field to hbot time”
→ “hospital to hbot time”
[time intervals to initiation of HBOT]

Table 1: Parameters of the care workflow with performance indicators for process quality

1. Patient age	
2. Sex	
3. Time of accident [time stamp]	
4. Cause [...]	
5. Arrival of emergency services [time stamp]	
6. Symptoms pre-hospital [neurological, cardiac, other]	
7. 100% Oxygen pre-hospital [yes/no] [demand, reservoir, circulatory system, CPAP, intubation, other]	
8. Fluid replacement pre-hospital [yes/no]	
9. Start of emergency services transport [time stamp]	
10. Mode of transport [land-based, NA, RTH, aircraft, boat, self]	
11. Arrival/handover at hospital [time stamp]	
12. Symptoms in hospital [...]	
13. 100% Oxygen by the hospital [demand, reservoir, CPAP, intubation]	
14. Start of transfer	
15. Arrival at hyperbaric oxygen therapy (HBOT) [time stamp]	
16. Start of HBOT [time stamp]	
17. Symptoms after HBOT [...]	
18. Examination at 4–6 weeks	
19. Outcome	



* door to hbot time

7.3 Post-inpatient performance indicators

If a patient is transferred with residual effects following a diving accident, the transfer report should indicate the need for rehabilitation measures and a further, post-inpatient follow-up examination.

- 6. Patients with residual effects following a diving accident shall be examined for sequelae for 4–6 weeks. → “outcome”

7.4 Update planning

The application and implementation of the guideline shall be evaluated prior to its update.

Notes

- ¹ Qualifications should at least correspond to the continuing medical education content of the “Diving Medicine Physician”, see <http://www.gtuem.org>, <http://www.suhms.org>, or <http://www.edtc.org>.
- ² European Resuscitation Council (ERC) guidelines on advanced life support, see <https://www.erc.edu>.
- ³ Directory of hyperbaric treatment chambers in Germany, Austria and Switzerland, see <https://www.gtuem.org>.

Abbreviations

- ABCDE: Airway, breathing, circulation, disability, environment/exposure
- AGE: Arterial gas embolism
- AWMF: Association of the Scientific Medical Societies in Germany (*Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften*)
- BDA: Professional Association of German Anaesthesiologists (*Berufsverband Deutscher Anästhesisten*)
- CPAP: Continuous positive airway pressure
- DAN: Divers Alert Network
- DCI: Decompression illness, decompression incident, decompression injury
- DCS: Decompression sickness
- DGAI: German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine (*Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin*)
- DGAUM: German Society for Occupational and Environmental Medicine (*Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin*)
- DIVI: German Interdisciplinary Association for Intensive Care and Emergency Medicine (*Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin*)
- DLRG: German Life-Saving Society (*Deutsche Lebensrettungs-Gesellschaft*)
- DRK: German Red Cross (*Deutsches Rotes Kreuz*)
- GTÜM: German Diving and Hyperbaric Medical Society (*Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin*)
- HBOT: Hyperbaric oxygen therapy
- HFNC: High-flow nasal cannula
- HFOT: High-flow oxygen therapy
- IWR: In-water recompression
- NHFT: Nasal high-flow therapy
- NIV: Non-invasive ventilation
- PFO: Patent foramen ovale
- SchiffMedInstMNaval: Medical Institute of the German Navy (*Schiffahrtsmedizinisches Institut der Marine*)
- SUHMSSwiss: Underwater and Hyperbaric Medical Society (*Schweizerische Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin*)
- VDD: Association of German Hyperbaric Treatment Centers (*Verband Deutscher Druckkammerzentren*)
- VDST: German Recreational Divers Association (*Verband Deutscher Sporttaucher*)

Guideline report

The methodological approach to the development of the guideline and, in particular, the management of potential conflicts of interest is presented in the guideline report. This is freely available online, e.g., on the website of the Association of the Scientific Medical Societies in Germany (AWMF) [67].

Competing interests

See Attachment 2

Attachments

Available from <https://doi.org/10.3205/000315>

1. Attachment 1_gms000315.pdf (486 KB)
Neurological assessment for divers
2. Attachment 2_gms000315.pdf (74 KB)
Conflicts of interest

References

1. Mitchell SJ, Bennett MH, Moon RE. Decompression Sickness and Arterial Gas Embolism. *N Engl J Med.* 2022 Mar;386(13):1254-64. DOI: 10.1056/NEJMra2116554
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):163-78. DOI: 10.1080/15438620600854710
4. Hills BA, Butler BD. Size distribution of intravascular air emboli produced by decompression. *Undersea Biomed Res.* 1981 Sep;8(3):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(4):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 Nov;75(11):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 Jan;31(1):84-8. DOI: 10.1097/00003246-200301000-00013
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. DOI: 10.3389/fphys.2020.00994
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. DOI: 10.3389/fphys.2021.763408
10. Wilmshurst PT, Byrne JC, Webb-Peploe MM. Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers. *Lancet.* 1989 Dec;2(8675):1302-6. DOI: 10.1016/s0140-6736(89)91911-9
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 Feb;47(1):50-7.
12. Brunner FP, Frick PG, Buehlmann AA. Post-decompression shock due to extravasation of plasma. *Lancet.* 1964 May;1(7342):1071-3. DOI: 10.1016/s0140-6736(64)91270-x

13. Zwirewich CV, Müller NL, Abboud RT, Lepawsky M. Noncardiogenic pulmonary edema caused by decompression sickness: rapid resolution following hyperbaric therapy. *Radiology*. 1987 Apr;163(1):81-2. DOI: 10.1148/radiology.163.1.3823462
14. Hampson NB, Moon RE. Arterial gas embolism breathing compressed air in 1.2 metres of water. *Diving Hyperb Med*. 2020 Sep;50(3):292-4. DOI: 10.28920/dhm50.3.292-294
15. Iadecola C, Buckwalter MS, Anrather J. Immune responses to stroke: mechanisms, modulation, and therapeutic potential. *J Clin Invest*. 2020 Jun;130(6):2777-88. DOI: 10.1172/JCI135530
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(2):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(11):e50079. DOI: 10.1371/journal.pone.0050079
18. 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;48(1):45-55. DOI: 10.28920/dhm48.1.45-55
19. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiburger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med*. 2007;34(1):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.
21. Gempp E, Blatteau JE, Pontier JM, Balestra C, Louge P. Preventive effect of pre-dive hydration on bubble formation in divers. *Br J Sports Med*. 2009 Mar;43(3):224-8. DOI: 10.1136/bjism.2007.043240
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.
24. Pendergast DR, Senf CJ, Fletcher MC, Lundgren CE. Effects of ambient temperature on nitrogen uptake and elimination in humans. *Undersea Hyperb Med*. 2015;42(1):85-94.
25. Mitchell SJ, Doolette DJ, Wachholz C, Vann RD. Management of mild or marginal decompression illness in remote locations. *Diving Hyperb Med*. 2006;36(3):152-5.
26. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiburger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med*. 2007;34(1):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.
28. Van Allen CM, Hrdina LS, Clark J. Air embolism from the pulmonary vein. *Arch Surg*. 1929;19(4):567-99. DOI:10.1001/archsurg.1929.01150040003001
29. Dutka AJ, Polychronidis J, Mink RB, Hallenbeck JM. Head-down 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.
31. Trytko B, Mitchell SJ. Extreme survival: a deep technical diving accident. *SPUMS J*. 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;48(1):45-55. DOI: 10.28920/dhm48.1.45-55
33. Moon RE, Mitchell S. Hyperbaric treatment for decompression sickness: current recommendations. *Undersea Hyperb Med*. 2019 Sep - Dec - Fourth Quarter;46(5):685-93.
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 Nov;16(6):465-70.
36. Moon RE, Sheffield PJ. Guidelines for treatment of decompression illness. *Aviat Space Environ Med*. 1997 Mar;68(3):234-43.
37. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet*. 2011 Jan;377(9760):153-64. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)61085-9
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. Available from: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0756182.pdf>
40. Hart GB. Treatment of decompression illness and air embolism with hyperbaric oxygen. *Aerosp Med*. 1974 Oct;45(10):1190-3.
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 May;28(5):559-63. DOI: 10.1007/s00134-002-1255-0
43. Blatteau JE, Gempp E, Simon O, Coulange M, Delafosse B, Souday V, Cochard G, Arvieux J, Henckes A, Lafere P, Germonpre P, Lapoussiere JM, Hugon M, Constantin P, Barthelemy A. Prognostic factors of spinal cord decompression sickness in recreational diving: retrospective and multicentric analysis of 279 cases. *Neurocrit Care*. 2011 Aug;15(1):120-7. DOI: 10.1007/s12028-010-9370-1
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 Sep;41(3):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. DOI: 10.1371/journal.pone.0124919
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.
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(5-6):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, Freiburger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med*. 2007;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;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. DOI: 10.3389/fphys.2022.885898
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 Aug;22(6):424-9. DOI: 10.1055/s-2001-16247
55. Kizer KW. Delayed treatment of dysbarism: a retrospective review of 50 cases. *JAMA*. 1982 May;247(18):2555-8.
56. Myers RA, Bray P. Delayed treatment of serious decompression sickness. *Ann Emerg Med*. 1985 Mar;14(3):254-7. DOI: 10.1016/s0196-0644(85)80450-9
57. Rudge FW, Shafer MR. The effect of delay on treatment outcome in altitude-induced decompression sickness. *Aviat Space Environ Med*. 1991 Jul;62(7):687-90.
58. Weisher DD. Resolution of neurological DCI after long treatment delays. *Undersea Hyperb Med*. 2008;35(3):159-61.
59. Ball R. Effect of severity, time to recompression with oxygen, and re-treatment on outcome in forty-nine cases of spinal cord decompression sickness. *Undersea Hyperb Med*. 1993 Jun; 20(2):133-45.
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. p.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. DOI: 10.1371/journal.pone.0266236
63. Janisch T, Stollenwerk A, Siekmann UP, Kopp R. Treatment of children with hyperbaric oxygenation (HBOT): a Europe-wide survey. *Minerva Pediatr (Torino)*. 2022 Apr;74(2):116-120. DOI: 10.23736/S2724-5276.20.05741-2
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 Jan;81(1):3-7. DOI: 10.3357/ASEM.2495.2010
65. Muche-Borowski C, Kopp I. Medizinische und rechtliche Verbindlichkeit von Leitlinien [Medical and legal commitment of guidelines]. *Z Herz Thorax Gefasschir*. 2015;29:116-20. DOI: 10.1007/s00398-015-1142-y
66. Lucas B, Brammen D, Schirrmeyer W, Aleyt J, Kulla M, Röhrig R, Walcher F. Anforderungen an eine nachhaltige Standardisierung und Digitalisierung in der klinischen Notfall- und Akutmedizin [Requirements for a sustainable standardization and digitalization in clinical emergency and acute medicine]. *Unfallchirurg*. 2019 Mar;122(3):243-6. DOI: 10.1007/s00113-019-0603-2
67. German Diving and Hyperbaric Medical Society (GTÜM), et al, editors. *S2k-Leitlinie Tauchunfall [S2k Guideline for Diving Accidents]*. AWMF registration number 072-001. Berlin: AWMF; 2023. Available from: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/072-001>

Corresponding author:

Prof. Dr. med. Björn Jüttner
Department of Anaesthesiology and Intensive Care
Medicine, Hannover Medical School,
Carl-Neuberg-Str. 1, 30625 Hannover, Germany
juettner.bjoern@mh-hannover.de

Please cite as

Jüttner B, Wölfel C, Camponovo C, Schöppenthau H, Meyne J, Wohrab C, Werr H, Klein T, Schmeißer G, Theiß K, Wolf P, Müller O, Janisch T, Naser J, Blödt S, Muche-Borowski C. *S2k guideline for diving accidents*. *GMS Ger Med Sci*. 2023;21:Doc01. DOI: 10.3205/000315, URN: urn:nbn:de:0183-0003157

This article is freely available from

<https://doi.org/10.3205/000315>

Received: 2022-12-23

Published: 2023-03-03

Copyright

©2023 Jüttner et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License. See license information at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Leitlinie Tauchunfall

Zusammenfassung

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.

Diese nationale S2k-Leitlinie legt den aktuellen Stand der Erkenntnisse und der konsentierten Empfehlungen in der Diagnostik und Behandlung von Patienten nach Tauchunfällen dar. Die Behandlung von Apnoetauchern sowie Kindern und Jugendlichen unterscheidet sich prinzipiell nicht.

Milde Symptome sind nur die auffällige Müdigkeit und ein Hautjucken ohne sichtbare Hautveränderungen.

Wesentliche Bedeutung bei der Versorgung von Tauchunfällen hat die frühzeitige Atmung von 100%igem Sauerstoff. Weiterhin werden die Ruhiglagerung/keine unnötige Bewegung, eine moderate Flüssigkeitsgabe und eine Taucherärztliche Telefonberatung empfohlen.

Die hyperbare Sauerstofftherapie (HBOT) ist bei schweren Dekompressionsunfällen unverändert ohne therapeutische Alternative. Als Behandlungsschema wird grundsätzlich eine HBOT bei 280 kPa empfohlen.

Schlüsselwörter: Tauchunfall, Dekompressionserkrankung, arterielle Gasembolie, Sauerstoff, hyperbare Sauerstofftherapie

Björn Jüttner¹
Christian Wölfel²
Claudio Camponovo²
Holger Schöppenthau³
Johannes Meyne⁴
Carmen Wohrab⁵
Henning Werr⁵
Till Klein⁶
Giso Schmeißer⁷
Karsten Theiß⁸
Philipp Wolf⁹
Oliver Müller¹⁰
Thorsten Janisch¹⁰
Johannes Naser¹¹
Susanne Blödt¹²
Cathleen
Muche-Borowski¹²

1 Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM)

2 Schweizerischen Gesellschaft für Unterwasser- und Hyperbarmedizin (SUHMS)

3 Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI)

4 Verband Deutscher Sporttaucher (VDST)

5 Schifffahrtmedizinisches Institut der Marine (SchiffMedInstM)

6 Verband Deutscher Druckkammerzentren (VDD)

7 Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (DGAUM)

8 Deutsche Lebens-Rettungs-Gesellschaft (DLRG)

9 Deutsches Rotes Kreuz, Wasserwacht (DRK)

10 Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI)

- 11 Berufsverband Deutscher Anästhesisten (BDA)
- 12 Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF)

1 Einleitung

1.1 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 hyperbarmmedizinischen Therapie von Tauchunfällen.
- in der weiteren medizinischen Versorgung von Tauchunfällen.

1.2 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.

1.2.1 Verwendete Definitionen für Empfehlungs- und Konsensstärken

1.2.1.1 Formulierung der Stärke der Empfehlungen

- Starke Empfehlung: soll/soll nicht
- Empfehlung: sollte/sollte nicht
- Offene Empfehlung: kann/kann verzichtet werden

1.2.1.2 Klassifikation der Konsensstärke

- 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

1.2.2 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-Küntschers-Straße 8, 82418 Murnau am Staffelsee, Deutschland, gtuem@gtuem.org

2 Definition, Pathophysiologie und Prävention

2.1 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).

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 Abbildung 1: Systematik der Tauchunfälle).

2.2 Ätiologie und Pathophysiologie

2.2.1 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, arterialisierete 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].

2.2.2 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].

2.3 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 Auswir-

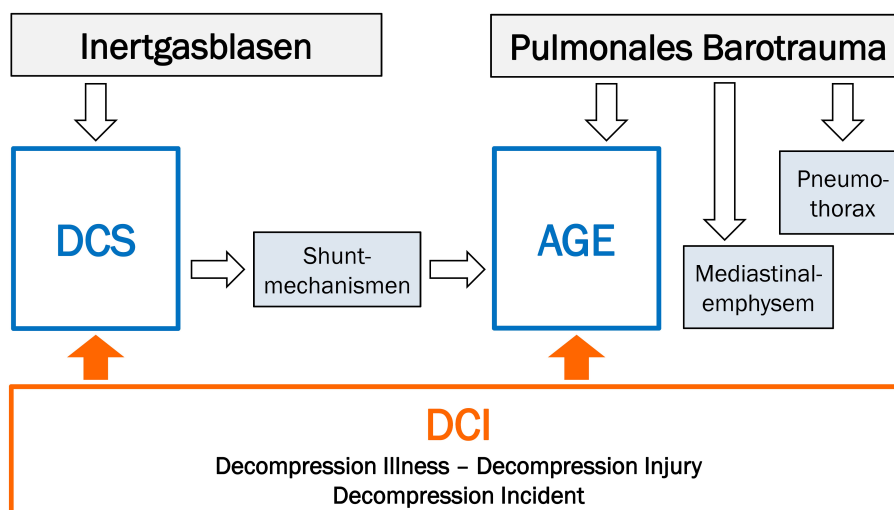


Abbildung 1: Systematik der Tauchunfälle

kungen sowie ggf. Korrekturmöglichkeiten vorhanden sein.

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

Regelmäßiges Training von Fähigkeiten (inkl. Selbst- und Fremddrettung) 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 vorübergehenden 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 Diving, 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.

3 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 Arzt¹ 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 Untersuchungsverfahren (siehe Anhang 1) 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 3.1 und 3.2.

- 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.

3.1 Milde Symptome

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

3.2 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

4 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

4.1 Maßnahmen Ersthelfer

Welche Maßnahmen werden für Ersthelfer empfohlen?

Maßnahmen bei milden Symptomen (siehe 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 Sauerstofftherapie)*
- *Überprüfung von Bewusstsein, Bewegungsfähigkeit und Wahrnehmung (z.B. „NeuroCheck für Taucher“, siehe Anhang 1)*
- *Taucher, die selbständig trinken können, 0,5–1 Liter Flüssigkeit/Stunde trinken lassen [18], [21], [22] (isotonische, kohlenstofffreie Getränke bevorzugen/keine alkoholhaltigen Getränke)*
- *Schutz sowohl vor Auskühlung als auch vor Überhitzung [23], [24]*
- *keine „nasse Rekompensation“*
- *100% Sauerstoffatmung bis zur taucherärztlichen Beratung fortführen, auch wenn symptomfrei innerhalb 30 Minuten*
- *Taucherärztliche Telefonberatung [18] (siehe 4.2)*
- *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 (siehe Abbildung 2)

Beim bewusstlosen Taucher ohne erkennbare Eigenatmung gelten die Empfehlungen zu Wiederbelebungsmaßnahmen entsprechend den aktuellen internationalen Leitlinien².

- *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 Sauerstofftherapie)*

- *Überprüfung von Bewusstsein, Bewegungsfähigkeit und Wahrnehmung (z.B. „NeuroCheck für Taucher“, siehe Anhang 1)*
- *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)

4.2 Taucherärztliche Telefonberatung

Ein tauchmedizinisch fortgebildeter Arzt¹ 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*
- *Schiffahrtmedizinisches 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.

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

4.3 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 werden².

- *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.

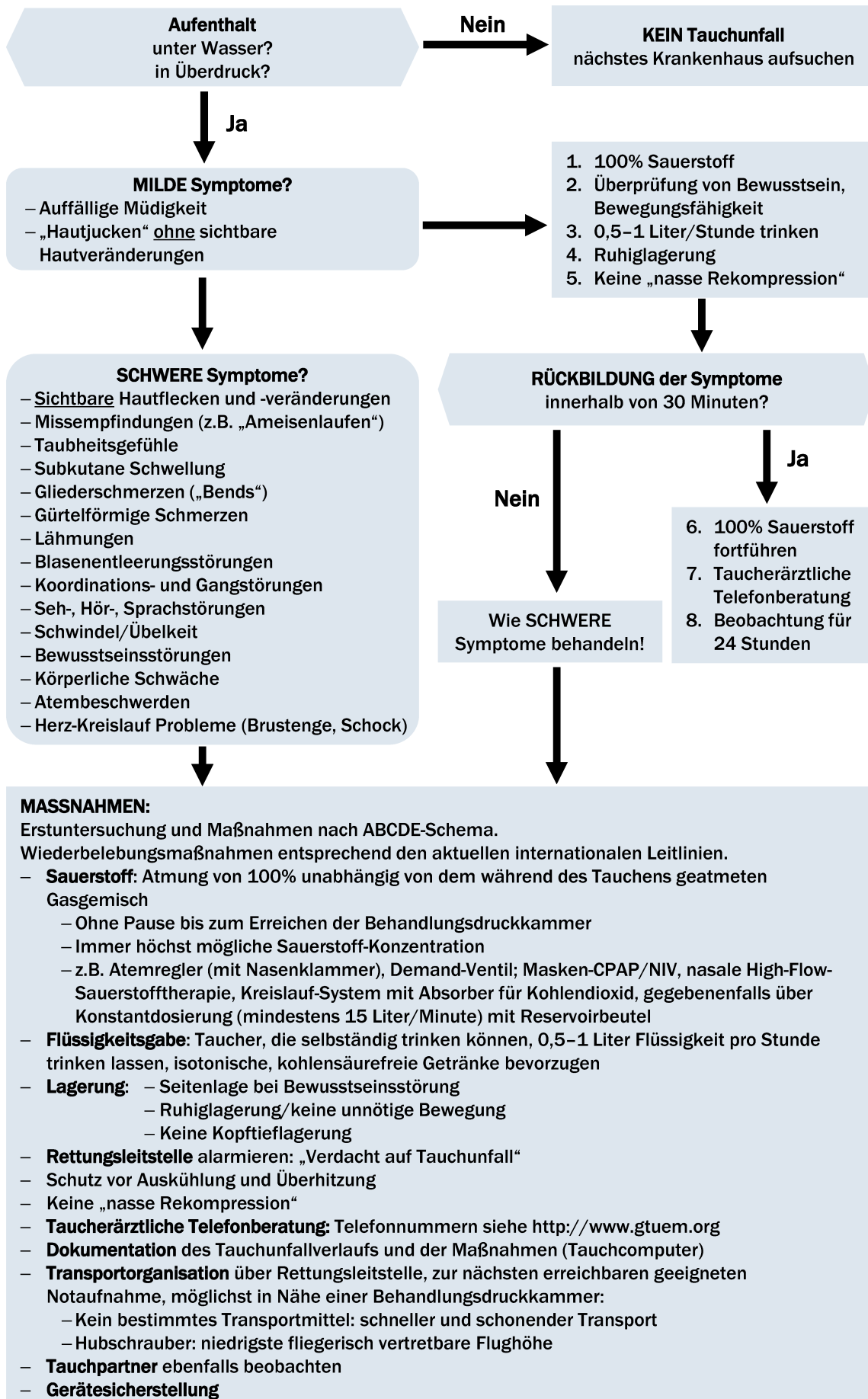


Abbildung 2: Erste Hilfe bei Tauchunfällen

Tauchunfallsspezifische Maßnahmen bei schweren Symptomen (siehe 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 Rekompensation“*
- *Weitere Maßnahmen*
 - *Grundsätzlich Verfahren nach notfallmedizinischen Standards*
 - *Klinische und neurologische Untersuchungen frühestmöglich und im Verlauf*
 - *Monitoring*
 - *Ggf. 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 Absatz Taucherärztliche Telefonberatung)*
 - *Bei schweren Symptomen schnellstmögliche Behandlung in einer therapeutischen Druckkammer³*
 - *Eine Druckkammerbehandlung 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 Arzt¹ 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.

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

Zu der Druckkammerbehandlung gibt es keine alternativen Therapieverfahren³.

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 Rekompensation“ (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 Rekompensation, insbesondere länger als 6 Stunden, erhöht das Risiko von irreversiblen Schäden [25], [42], [43], [44], [45].

4.4 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)

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] (FIO₂ 1.0, „100%“).

Auch bei sehr begrenztem O₂-Vorrat soll O₂ 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 gemessenen Gasgemischtes 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)

4.5 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 Gesamttransportzeit 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.

4.5.1 Versorgung während des Transports

Regelmäßige Wiederholung der klinischen und orientierenden neurologischen Untersuchung.

4.6 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.

4.6.1 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

4.6.2 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 (siehe 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 Stimmhaltungen 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 'US Navy Treatment Table 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 'US Navy Treatment Table 6'.

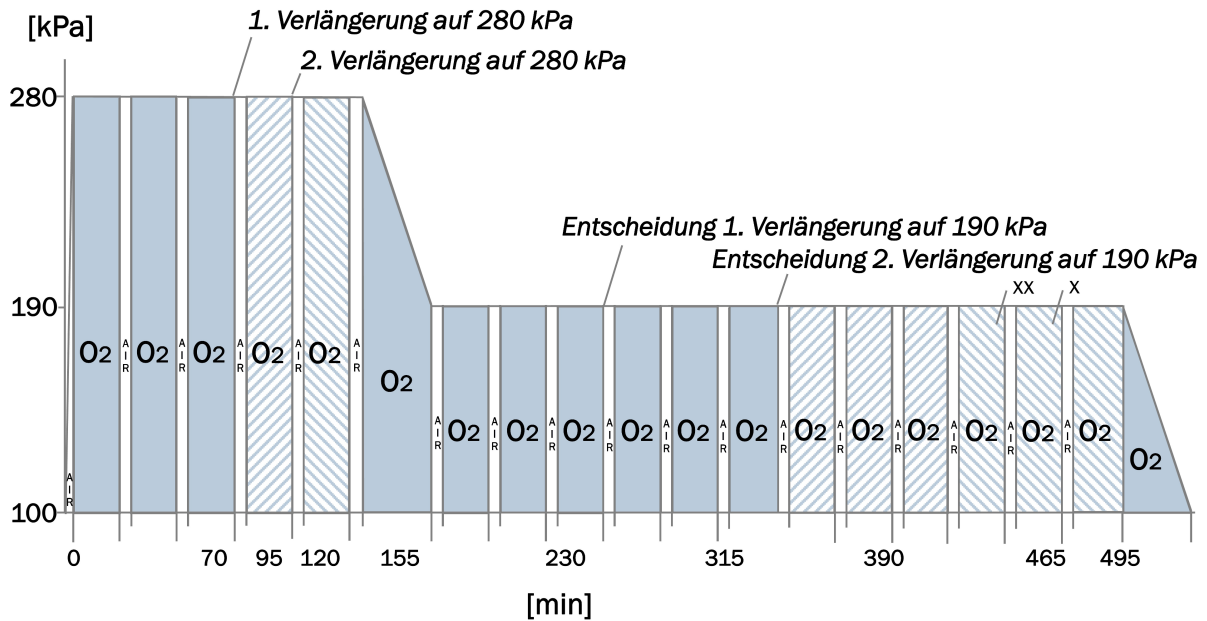
Andere Behandlungstabellen, insbesondere Tabellen mit längeren Behandlungszeiten und höheren Behandlungsdrücken sowie Mischgas- und Sättigungsbehandlungstabellen, sollen Einrichtungen und Personal mit besonderer Erfahrung, Kenntnissen und einer entsprechenden Ausrüstung vorbehalten bleiben, welche es 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.

4.6.3 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

US Navy Treatment Table 6
modifiziert nach SchiffMedInstM/GTÜM



X 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.

XX 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 3: Modifizierte US Navy Treatment Table 6

- 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

4.6.4 Maßnahmen nach der ersten Druckkammerbehandlung

Wie werden Patienten zwischen den Druckkammerbehandlungen behandelt?

Jeder Patient soll nach der initialen Druckkammerbehandlung für mindestens 24 h überwacht werden. Im kritischen Zustand kann eine Intensivtherapie notwendig sein.

Zwischen den Druckkammerbehandlungen wird zusätzlicher Sauerstoff nur bei verminderter Sauerstoffaufnahme

me 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 Druckkammerbehandlung
- Vorteile der Physiotherapie während der Druckkammerbehandlung gegenüber der alleinigen Durchführung zwischen den Druckkammerbehandlungen sind nicht erwiesen.
- Medikamentöse und weitere Therapie entsprechend dem klinischen Erkrankungsbild nach Maßgabe der beteiligten Fachgebiete

4.6.5 Weitere Druckkammerbehandlungen

Werden Druckkammer-Folgebehandlungen empfohlen?

Sind nach der ersten Druckkammerbehandlung noch Symptome vorhanden, soll sich innerhalb von 24 Stunden eine Folgebehandlung anschließen.

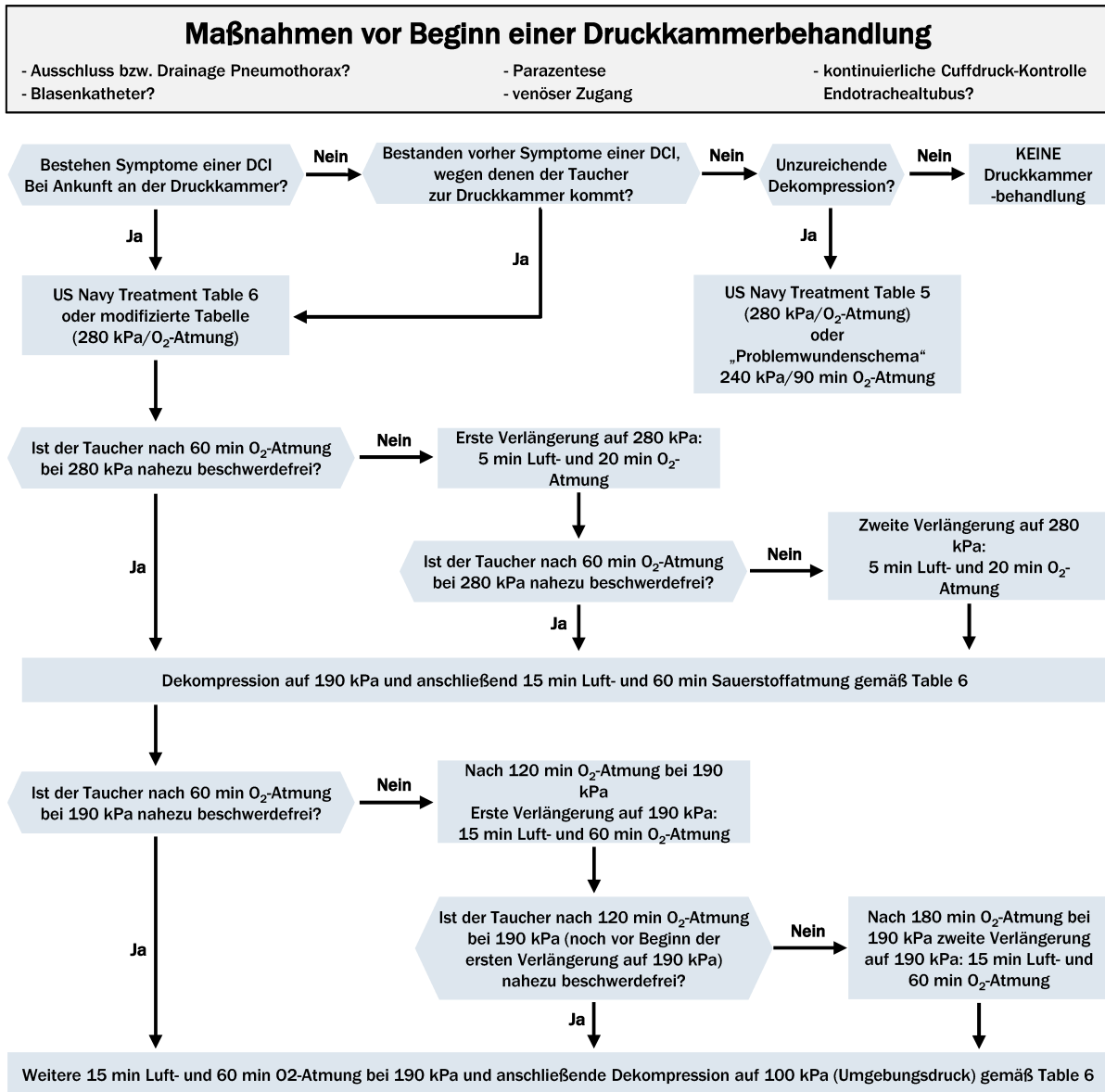


Abbildung 4: Flussdiagramm „Erste Druckkammerbehandlung bei Tauchunfällen“

– 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 Druckkammerbehandlung entsprechend der Standard-Behandlungstabelle „US Navy Treatment Table 6“ erwogen werden.
- Andere Behandlungstabellen sollen Einrichtungen und Personal mit Erfahrung, Kenntnissen und einer entsprechenden Ausrüstung vorbehalten bleiben, welche es ermöglichen, auch mit unerwünschten Ergebnissen umgehen zu können.

4.6.6 Abstände zwischen den Druckkammerbehandlungen

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

4.6.7 Weitere Diagnostik/ Kontrolluntersuchungen nach klinischer Symptomatik

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

4.6.8 Entscheidung über Beendigung der Druckkammerbehandlungen

- Nach vollständiger und anhaltender Symptombefreiheit 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.

4.7 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 Druckkammerbehandlung. 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)

4.8 Verlegung (Sekundärtransport)

Wenn nach der ersten Druckkammerbehandlung noch Symptome vorhanden sind, müssen bei gesicherter Diagnose innerhalb von 24 Stunden gegebenenfalls weitere Behandlungen folgen. Wenn zwischen den Druckkammerbehandlungen vor Ort keine stationäre medizinische Betreuung möglich ist, muss ein Transport in ein entsprechend ausgestattetes Behandlungszentrum³ 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.

Bei einem Transport von Patienten nach Druckkammerbehandlung 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.

4.8.1 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.

5 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.

6 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 Arzt¹ 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.

7 Qualitätsmanagement

Leitlinien sollen eine gute Informationsgrundlage sein, eine Orientierung bieten und als Entscheidungshilfen den Transfer der bestverfügbaren 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 Routedaten, 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.

7.1 Präklinische Kennzahlen

Unter Berücksichtigung des Versorgungsablaufes wurden Parameter beschrieben und weiterhin Kennzahlen formuliert, siehe Tabelle 1.

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]

7.2 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]

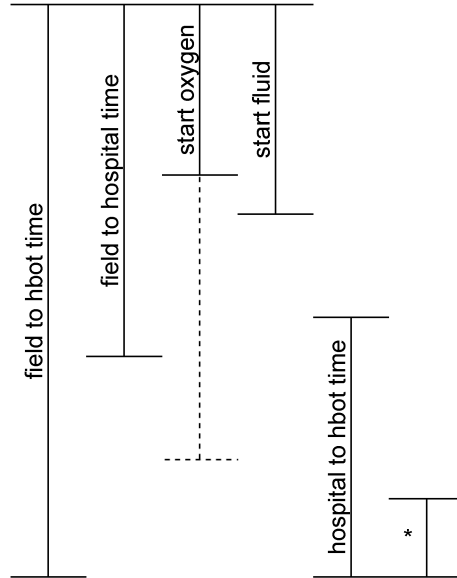
7.3 Poststationäre Kennzahlen

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 1: 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

7.4 Aktualisierungsplanung

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

Anmerkungen

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>.

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

³ Verzeichnis der Behandlungsdruckkammern in Deutschland, Österreich und der Schweiz, siehe <https://www.gtuem.org>.

Abkürzungen

- 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

Leitlinienreport

Die methodische Vorgehensweise bei der Erstellung der Leitlinie und insbesondere das Management von potentiellen Interessenskonflikten ist im Leitlinienreport dargelegt.

Dieser ist im Internet, z.B. auf den Seiten der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), frei verfügbar [67].

Interessenkonflikte

Siehe Anhang 2

Anhänge

Verfügbar unter <https://doi.org/10.3205/000315>

1. Anhang 1_gms000315.pdf (430 KB)
NeuroCheck für Taucher
2. Anhang 2_gms000315.pdf (86 KB)
Interessenkonflikte

Literatur

1. Mitchell SJ, Bennett MH, Moon RE. Decompression Sickness and Arterial Gas Embolism. *N Engl J Med.* 2022 Mar;386(13):1254-64. DOI: 10.1056/NEJMr2116554
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):163-78. DOI: 10.1080/15438620600854710
4. Hills BA, Butler BD. Size distribution of intravascular air emboli produced by decompression. *Undersea Biomed Res.* 1981 Sep;8(3):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(4):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 Nov;75(11):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 Jan;31(1):84-8. DOI: 10.1097/00003246-200301000-00013
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. DOI: 10.3389/fphys.2020.00994
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. DOI: 10.3389/fphys.2021.763408
10. Wilmshurst PT, Byrne JC, Webb-Peploe MM. Relation between interatrial shunts and decompression sickness in divers. *Lancet.* 1989 Dec;2(8675):1302-6. DOI: 10.1016/s0140-6736(89)91911-9
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 Feb;47(1):50-7.
12. Brunner FP, Frick PG, Buehlmann AA. Post-decompression shock due to extravasation of plasma. *Lancet.* 1964 May;1(7342):1071-3. DOI: 10.1016/s0140-6736(64)91270-x
13. Zwirewich CV, Müller NL, Abboud RT, Lepawsky M. Noncardiogenic pulmonary edema caused by decompression sickness: rapid resolution following hyperbaric therapy. *Radiology.* 1987 Apr;163(1):81-2. DOI: 10.1148/radiology.163.1.3823462
14. Hampson NB, Moon RE. Arterial gas embolism breathing compressed air in 1.2 metres of water. *Diving Hyperb Med.* 2020 Sep;50(3):292-4. DOI: 10.28920/dhm50.3.292-294
15. Iadecola C, Buckwalter MS, Anrather J. Immune responses to stroke: mechanisms, modulation, and therapeutic potential. *J Clin Invest.* 2020 Jun;130(6):2777-88. DOI: 10.1172/JCI135530
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(2):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(11):e50079. DOI: 10.1371/journal.pone.0050079
18. 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;48(1):45-55. DOI: 10.28920/dhm48.1.45-55
19. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiburger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med.* 2007;34(1):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.
21. Gempp E, Blatteau JE, Pontier JM, Balestra C, Louge P. Preventive effect of pre-dive hydration on bubble formation in divers. *Br J Sports Med.* 2009 Mar;43(3):224-8. DOI: 10.1136/bjism.2007.043240
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.
24. Pendergast DR, Senf CJ, Fletcher MC, Lundgren CE. Effects of ambient temperature on nitrogen uptake and elimination in humans. *Undersea Hyperb Med.* 2015;42(1):85-94.
25. Mitchell SJ, Doolette DJ, Wachholz C, Vann RD. Management of mild or marginal decompression illness in remote locations. *Diving Hyperb Med.* 2006;36(3):152-5.
26. Longphre JM, Denoble PJ, Moon RE, Vann RD, Freiburger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med.* 2007;34(1):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.

28. Van Allen CM, Hrdina LS, Clark J. Air embolism from the pulmonary vein. *Arch Surg.* 1929;19(4):567-99. DOI:10.1001/archsurg.1929.01150040003001
29. Dutka AJ, Polychronidis J, Mink RB, Hallenbeck JM. Head-down 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.
31. Trytko B, Mitchell SJ. Extreme survival: a deep technical diving accident. *SPUMS J.* 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;48(1):45-55. DOI: 10.28920/dhm48.1.45-55
33. Moon RE, Mitchell S. Hyperbaric treatment for decompression sickness: current recommendations. *Undersea Hyperb Med.* 2019 Sep - Dec - Fourth Quarter;46(5):685-93.
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 Nov;16(6):465-70.
36. Moon RE, Sheffield PJ. Guidelines for treatment of decompression illness. *Aviat Space Environ Med.* 1997 Mar;68(3):234-43.
37. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet.* 2011 Jan;377(9760):153-64. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)61085-9
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. Available from: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD0756182.pdf>
40. Hart GB. Treatment of decompression illness and air embolism with hyperbaric oxygen. *Aerosp Med.* 1974 Oct;45(10):1190-3.
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 May; 28(5):559-63. DOI: 10.1007/s00134-002-1255-0
43. Blatteau JE, Gempp E, Simon O, Coulange M, Delafosse B, Souday V, Cochard G, Arvieux J, Henckes A, Lafere P, Germonpre P, Lapoussiere JM, Hugon M, Constantin P, Barthelemy A. Prognostic factors of spinal cord decompression sickness in recreational diving: retrospective and multicentric analysis of 279 cases. *Neurocrit Care.* 2011 Aug;15(1):120-7. DOI: 10.1007/s12028-010-9370-1
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 Sep;41(3):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. DOI: 10.1371/journal.pone.0124919
46. Hyldegaard O, Madsen J. Influence of heliox, oxygen, and N2O2 breathing on N2 bubbles in adipose tissue. *Undersea Biomed Res.* 1989 May;16(3):185-93.
47. Hyldegaard O, Møller M, Madsen J. Effect of He-O2, O2, and N2O2 breathing on injected bubbles in spinal white matter. *Undersea Biomed Res.* 1991;18(5-6):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, Freiburger JJ. First aid normobaric oxygen for the treatment of recreational diving injuries. *Undersea Hyperb Med.* 2007;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;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. DOI: 10.3389/fphys.2022.885898
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 Aug;22(6):424-9. DOI: 10.1055/s-2001-16247
55. Kizer KW. Delayed treatment of dysbarism: a retrospective review of 50 cases. *JAMA.* 1982 May;247(18):2555-8.
56. Myers RA, Bray P. Delayed treatment of serious decompression sickness. *Ann Emerg Med.* 1985 Mar;14(3):254-7. DOI: 10.1016/s0196-0644(85)80450-9
57. Rudge FW, Shafer MR. The effect of delay on treatment outcome in altitude-induced decompression sickness. *Aviat Space Environ Med.* 1991 Jul;62(7):687-90.
58. Weisher DD. Resolution of neurological DCI after long treatment delays. *Undersea Hyperb Med.* 2008;35(3):159-61.
59. Ball R. Effect of severity, time to recompression with oxygen, and re-treatment on outcome in forty-nine cases of spinal cord decompression sickness. *Undersea Hyperb Med.* 1993 Jun; 20(2):133-45.
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. p.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. DOI: 10.1371/journal.pone.0266236
63. Janisch T, Stollenwerk A, Siekmann UP, Kopp R. Treatment of children with hyperbaric oxygenation (HBOT): a Europe-wide survey. *Minerva Pediatr (Torino).* 2022 Apr;74(2):116-120. DOI: 10.23736/S2724-5276.20.05741-2

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 Jan;81(1):3-7. DOI: 10.3357/asem.2495.2010
65. Muche-Borowski C, Kopp I. Medizinische und rechtliche Verbindlichkeit von Leitlinien [Medical and legal commitment of guidelines]. *Z Herz Thorax Gefasschir.* 2015;29:116-20. DOI: 10.1007/s00398-015-1142-y
66. Lucas B, Brammen D, Schirrmeister W, Aleyt J, Kulla M, Röhrig R, Walcher F. Anforderungen an eine nachhaltige Standardisierung und Digitalisierung in der klinischen Notfall- und Akutmedizin [Requirements for a sustainable standardization and digitalization in clinical emergency and acute medicine]. *Unfallchirurg.* 2019 Mar;122(3):243-6. DOI: 10.1007/s00113-019-0603-2
67. German Diving and Hyperbaric Medical Society (GTÜM), et al, editors. S2k-Leitlinie Tauchunfall [S2k Guideline for Diving Accidents]. AWMF registration number 072-001. Berlin: AWMF; 2023. Available from: <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/072-001>

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Björn Jüttner
Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
Medizinische Hochschule Hannover, Carl-Neuberg-Str. 1,
30625 Hannover, Deutschland
juettner.bjoern@mh-hannover.de

Bitte zitieren als

Jüttner B, Wölfel C, Camponovo C, Schöppenthau H, Meyne J, Wohlrab C, Werr H, Klein T, Schmeißer G, Theiß K, Wolf P, Müller O, Janisch T, Naser J, Blödt S, Muche-Borowski C. S2k guideline for diving accidents. *GMS Ger Med Sci.* 2023;21:Doc01. DOI: 10.3205/000315, URN: <urn:nbn:de:0183-0003157>

Artikel online frei zugänglich unter

<https://doi.org/10.3205/000315>

Eingereicht: 23.12.2022

Veröffentlicht: 03.03.2023

Copyright

©2023 Jüttner et al. Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel und steht unter den Lizenzbedingungen der Creative Commons Attribution 4.0 License (Namensnennung). Lizenz-Angaben siehe <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.