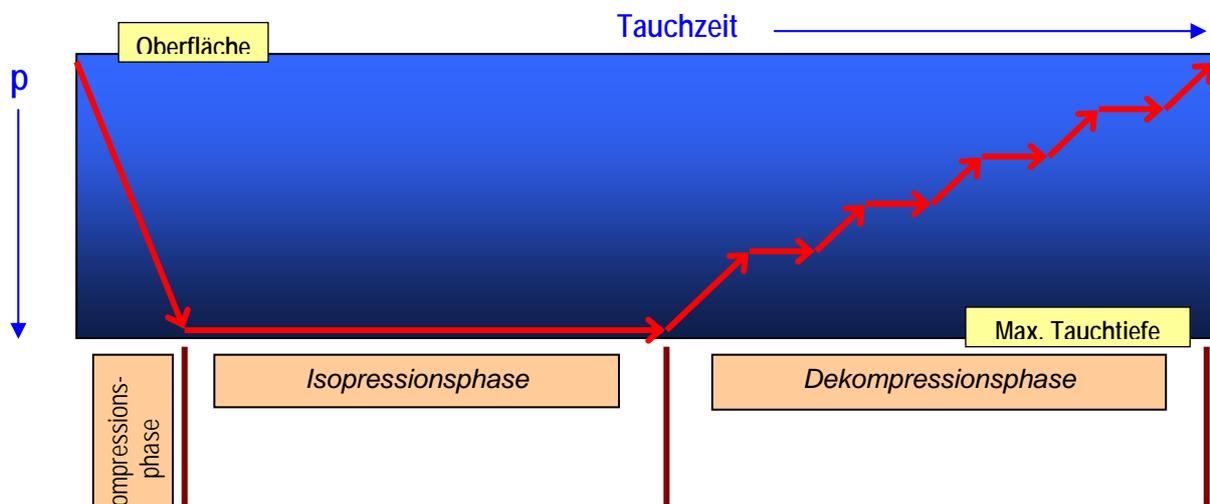


4. Die Auswirkungen des Druckes beim Tauchen

Tauchgänge von Berufs- und Forschungstaucher lassen sich bei den meisten Einsätzen in drei aufeinander folgende Abschnitte (Phasen) einteilen:

- | | | |
|---------------------------------------|---|---|
| beim Abtauchen | - | Kompressionsphase
(Druckzunahme) |
| während des Aufenthaltes unter Wasser | - | Isopressionsphase
(Phase konstanten Drucks) |
| beim Austauchen | - | Dekompressionsphase
(Druckabnahme)
ggf. mit Haltezeiten auf Austauchstufen |



Für Sporttaucher und teilweise auch für Forschungstaucher ist diese Einteilung nicht mehr zeitgemäß, da während der UW-Erkundung die Tiefe häufig gewechselt wird. Statt von einer Isopressionsphase sollte man daher von einer **Variophase** (*Phase wechselnden Druckes, 'multi-level-diving'*) sprechen.

Beim Tauchen ist der Mensch unterschiedlichen Umgebungsdrücken ausgesetzt. Eine Schädigung, die durch die Wirkung einer Druckdifferenz (*eines mangelnden Druckausgleiches*) zustande kommt, wird als **"Barotrauma"** bezeichnet (*Plural: Barotraumata oder Barotraumen*). ("baro" [grch.] ≙ 'Gewicht' (fig. 'Schwere'; "trauma" [grch.] ≙ 'Verletzung' (Wunde))

Druckdifferenzen gegenüber abgeschlossenen Gasmengen (z. B. in starren und/oder variablen Hohlräumen des menschlichen Körpers) entstehen, wenn Druckänderungen (der Umgebung) nicht durch entsprechende Änderungen des Volumens (Gesetz von Boyle-Mariotte) ausgeglichen werden. Bei elastischen Hohlräumen (z. B. der Lunge) sind Volumenänderungen bis zu einer gewissen Grenze möglich. In verschlossenen Hohlräumen mit starren Wandungen kann eine negative Druckdifferenz (relativer Unterdruck) nur durch Schwellung der Schleimhaut und durch Einstrom von Flüssigkeit (Blut, Gewebsflüssigkeit) reduziert werden.

4.1. Kompressionsphase, Unterdruckbarotraumata

Beim Abtauchen (Zunahme des Umgebungsdrucks) kann es zu negativen Druckdifferenzen (Unterdruck) in gasgefüllten Hohlräumen des menschlichen Körpers kommen, wenn aufgrund verschlossener/verlegter Verbindungswege ein Druckausgleich nicht erfolgen kann.

Zu diesen Hohlräumen gehören:

Elastischer Hohlraum:	Lungen
Hohlräume mit starren Wandungen:	Ohr (Außenohr, Mittelohr) Nasennebenhöhlen Zähne
Künstliche Hohlräume:	Tauchermaske Trockentauchanzug Trockentauchhandschuhe

4.1.1. Unterdruckbarotrauma der Lungen

Pulmonales Barotrauma
Hypobares Barotrauma der Lunge
Thoracic (lung) squeeze' (engl.)
npPB = Negative Pressure Pulmonary Barotrauma
Alte Bezeichnung: "Inneres Blaukommen"

Ursache:

Relativer Unterdruck der Atemluft im Atmungssystem (*negative Druckdifferenz*), verursacht durch:

- ① Zu große Druckdifferenz zur Wasseroberfläche beim Tauchen mit **Schnorchellängen größer 38cm** (30-40 cm).
(DIN 7878: Erwachsene: maximale Länge 35 cm, Durchmesser: 18 mm bis 25 mm).
- ② Überschreiten der '**individuellen Freitauch-Grenztiefe**'
(Etwa in 30 m Wassertiefe).
(Tiefe, in der die Totalkapazität auf das Volumen der Restkapazität komprimiert ist.)
[Beispiel: Totalkapazität = 6 Liter ⇨ in 30 m Wassertiefe: Lungenvolumen = 1,5 Liter = Restkapazität]

In der Praxis aber am besten 1/3 von dieser berechneten Tiefe abziehen, da meist nicht voll eingatmet wird und Luft für den Totraum (Maske, etc.) benötigt wird.
- ③ Lungenautomat mit zu großem Einatemwiderstand (> 0,03 bar, bzw. > 30 cm Wassersäule)
- ④ "Tauchersturz" (nur Helmtaucher in historischer Ausrüstung)

Folge:

Der relative Unterdruck in der Lunge wirkt sich nach Ausschöpfung aller Kompensationsmöglichkeiten des Organs (z. B. starkes Hochwölben des Zwerchfelles, vermehrte Füllung der Lungengefäße) mechanisch wie ein **Sog** aus:

- Ansaugen von Blut in den großen Hohlvenen des Brustkorbes, im Lungenkreislauf und im rechten Herzen.
- Venöser Rückstau im Lungenkreislauf mit massiver Rechtsherzüberlastung (Möglich: Überdehnung und Versagen des Herzmuskels)
 → Hirndurchblutung (Sauerstoffversorgung) nicht mehr ausreichend
 (→ Kollaps, Bewusstlosigkeit)
- Blut und/oder Gewebsflüssigkeit tritt in die Lunge
 (Behinderung der Atmung, Ersticken)
 Aufgrund des ausgeübten Soges kommt es zum Ausschwitzen von Gewebsflüssigkeit in die Alveolen (**Lungenödem**) und/oder zu Einblutungen durch Reißen von Alveolargefäßen.

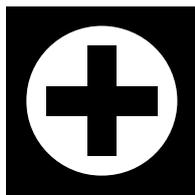
Symptome:

- Atemnot
- Brustschmerzen
- Husten mit (blutig-) schaumigem Auswurf
- "Brodeldes" Atemgeräusch
- Schocksymptomatik

Vorkommen:

Freitaucher

(Selten: Gerätetaucher, Helmtaucher)

Sofortmaßnahmen:

- **Sauerstoffgabe** (normobar)
- Lagerung: möglichst sitzend
- Überwachung der Vitalfunktionen
- Ausatmung mit 'Lippenbremse'
- Ausatmung gegen CPAP-Ventil
 (*Continuous Positive Airway Pressure, kontinuierlicher positiver Atemwegdruck*)

**In schweren Fällen:**

Schockbehandlung

O₂-Beatmung mit PEEP (*'positive endexpiratory pressure'*, positiver endexpiratorischer Druck)

ggf. HLW

Behandlung:

Mindestens 24 Stunden intensivmedizinische Überwachung

Röntgen-Thoraxaufnahme und regelmäßige Blutgasanalysen zur Diagnosestellung

Anmerkung:

Zu einem "äußeren Blaukommen" (sichtbare Blaufärbung der Haut durch flächenhafte Blutungen in Haut und Schleimhäuten) kam es bei Helmtauchern (alte Ausrüstungen) nach einem Tauchersturz. Der Tauchersturz bewirkt eine plötzliche Druckzunahme (innerhalb weniger Sekunden), die durch den (z. B. an Deck des Taucherbootes) eingestellten Versorgungsdruck nicht ausgeglichen werden kann. Es kommt daher im Taucheranzug zu einem Unterdruck, der im starren Taucherhelm in einer Sogwirkung resultiert, da in diesem Bereich eine Änderung des Innenvolumen (des Taucherhelms) nicht möglich ist. Man spricht auch von einer "Schröpfkopfwirkung". Bei modernen Helmtauchgeräten ist die Gefahr bei einem Tauchersturz durch Zwischenschaltung eines Lungenautomaten und einer besseren Luftversorgungsleistung minimiert worden.

Neben dem äußeren Blaukommen kommt es beim Tauchersturz des Helmtauchers auch immer zu einem inneren Blaukommen (= Einblutung in die Lunge).

4.1.2. Unterdruckbarotrauma des Mittelohres und des Trommelfells

Hypobares Barotrauma des Mittelohres
 'middle-ear squeeze' (engl.)
 npBME = Negative Pressure Barotrauma of the Middle Ear

Das Unterdruckbarotrauma des Mittelohres ist die Taucherkrankheit, von der die Taucher am häufigsten betroffen werden.

Ursache:

Relativer Unterdruck im Mittelohr verursacht durch einen Verschluss der Eustachischen Röhre z. B. wg.:

- ① Erkältung, Heuschnupfen, Grippe → Schleimhautschwellung
- ② - zu schnelles Abtauchen
- mangelnde Druckausgleichstechnik, verpasster Druckausgleich

"Tubenblock"

Ab einer Druckdifferenz von etwa 100 mbar (= 1 m WS [Wassersäule]) werden die Tubenlippen so stark aufeinander gepresst, dass sie sich durch Muskelzug nicht mehr öffnen lassen.

Folge:

Verstärkte Wölbung des Trommelfells nach innen

- Druck auf Gehörknöchelchen
- stechender Schmerz (wg. der Trommelfelldehnung)

dabei gleichzeitig möglich:

- Füllung der Gefäße des Trommelfells und der Paukenhöhle mit Blut
- Schleimhautschwellung im Mittelohr
- Füllung des gesamten Mittelohres mit Blut und Gewebsflüssigkeit

Bei zu starker Wölbung
(bei $\Delta p > 0,15 \text{ bar}$ (= 1,5 m WS), meist ab $\Delta p > 0,3 \text{ bar}$ (= 3 m WS))
reißt das Trommelfell ein (Perforation, Ruptur)

und

der Schmerz lässt schlagartig nach
und Wasser dringt aus der Umgebung ins Mittelohr ein.

Bei älteren Tauchern reißt das Trommelfell schon bei geringeren Druckdifferenzen, da die Elastizität des Trommelfells mit dem Alter nachlässt.

Symptome:

Bei Überdehnung des Trommelfells:

- Ohrenscherzen (Trommelfelldehnung) (Stechender Schmerz, der nach Perforation des Trommelfelles schlagartig nachlässt.)
- Gefäßzeichnung auf dem Trommelfell
- Ohrgeräusche, Hörminderung
- dumpfes, watteartiges Gefühl im betroffenen Ohr

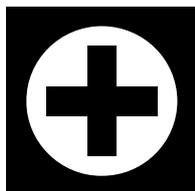
Bei Trommelfellriss (Perforation) (meist nur stecknadelgroß und schwer erkennbar):

- Nach Eindringen von kaltem Wasser ins Ohr
 - ⇒ **Kältereiz stört Gleichgewichtsorgan**
 - ⇒ **heftiger Drehschwindel (kaloriescher Drehschwindel) und Verlust der Orientierung**
(Der Drehschwindel verschwindet normalerweise in weniger als einer Minute; nach der Erwärmung des eingedrungenen kalten Wassers.)
 - ⇒ evtl.: **Panik!** ⇒⇒ **Gefahr: unkontrollierter Notaufstieg**
- Brechreiz, Übelkeit
- Ohrgeräusche
- evtl. Blut aus Nase, Mund und Ohren
- Hörverlust, Hörminderung (*normalisiert sich meist nach 3-5 Tagen*)

Vorkommen:

Freitaucher, Gerätetaucher, Helmtaucher, (*Landung mit Flugzeug*)

Sofortmaßnahmen:



Im Wasser: Langsamer Wiederaufstieg (Orientierung an den Luftblasen, langsam hochtreiben lassen)!

An Land: Evtl. Gabe von Schmerzmitteln.

Bei einem Riss des Trommelfells:
Wg. **Infektionsgefahr** (Mittelohrentzündung):
Arzt (HNO) aufsuchen!

Behandlung:



- Abschwellende Mittel (selten), steriler Verband
- Druckänderungen ausschließen!
(Nicht tauchen! Keine Valsalva-Manöver!)
 *"Valsalva-Manöver" = Pressen
 bei geschlossener Nase und Mund.
 Keine Pressatmung!*
- Tauchverbot: ca. 2 Wochen.
- Bei Trommelfellriss: 1-2 Monate.
- Antibiotika bei Mittelohrentzündung.

Vorbeugen:

- Tauchverbot bei Erkältung!
- Funktionsprüfung der Eustachischen Röhre vor jedem Tauchgang!
- Früher Beginn des Druckausgleiches.
(Zeitfaktor: Der Schaden wird größer, wenn die schädliche Druckdifferenz länger aufrecht erhalten wird.)
- Druckausgleich nie erzwingen!
- Bei Druckausgleichproblemen den Tauchgang abbrechen.
- Fußwärts abtauchen.

Ergänzung:

Die luftgefüllten Warzenfortsatzzellen (Mastoidzellen) hinter der Ohrmuschel sind über ein dünnes Kanalsystem mit der Paukenhöhle verbunden. Wenn ihre Belüftung beispielsweise durch Schleimhautschwellungen unterbrochen wird, kann es zu Infektionen kommen.

4.1.3. **Unterdruckbarotrauma des Innenohres** (Inkl. "explosives" Innenohr-Barotrauma (*alte Bezeichnung*))

Hypobares Barotrauma des Innenohres
'alternobaric vertigo of descent' (*engl.*)
npBIE = negative Pressure Barotrauma of the Inner Ear

Wdh.: Innenohr ist mit Flüssigkeit gefüllt, Schallwelle wirkt via Gehörknöchelchen auf ovales Fenster, (Wanderwelle durch Schnecke), Druckwellenentlastung durch „rundes Fenster“, „Rundes Fenster“: 60-80 µm dick, Fläche etwa 6 mm².

Das Unterdruckbarotrauma des Innenohres offenbart sich in einer **Ruptur des runden Fensters**.

Ursache:

Unzureichender Druckausgleich in der Paukenhöhle (z. B. aufgrund einer Tubenfunktionsstörung, zu schneller Abstieg) **mit resultierendem Unterdruckbarotrauma des Mittelohres**, dabei wölbt sich die Membran des runden Fensters in Richtung Mittelohr. Der Taucher versucht den Druckausgleich durch Sprengung der blockierten Tube mit (forciertem) Valsalva-Manöver zu erzwingen. Das erfolgreiche Manöver resultiert in einem **abrupten (schlagartigen) Druckausgleich!**

Folge des Manövers (Hypothese 1, "Mechanische Welle")

Die Platte des Steigbügels wird in das „ovale Fenster“ hineingepresst, der Druck pflanzt sich über die Perilymphe in der Schnecke fort und führt damit zu einer Auslenkung der Membran des runden Fensters in Richtung Mittelohr. Nach dem plötzlichen Druckwechsel (Druckausgleich, s.o.) kann die resultierende starke Druckwelle zu einer Pendelbewegung (Schwingung) der Innenohrflüssigkeit führen (⇒ Funktionsbeeinträchtigungen).

Folge des Manövers (Hypothese 2)

Wird bei blockierter Tube ein forciertes Valsalva-Manöver versucht, so wird diese Druckerhöhung über die das Gehirn und das Rückenmark umgebenden Flüssigkeit (Liquor) auf die Perilymphe des Innenohrs übertragen. Diese Druckwelle kann dort zu einem Platzen der Membran des runden Fensters führen. Voraussetzung ist ein weiter Aquaeductus cochlea und/oder ein verletzliches rundes Fenster (Ehm, 1991).

Beide Hypothesen resultieren (setzen sich fort) in:

- ⇒ **Ruptur** (Einriss) **der runden Fenstermembran** durch explosionsartige Druckwelle ("*Explosives Innenohr-Barotrauma*").
- ⇒ **Innenohr läuft leer** (Auslaufen der Perilymphe) und Luftblasen dringen aus dem Mittelohr in das Innenohr.

- ⇒ Sauerstoff-Mangelversorgung sensibler Nervenzellen im Innenohr (da diese keine eigene Blutversorgung besitzen).
- ⇒ Irritationen der Bogengänge
- ⇒ Funktionsstörungen

Ein Einreißen der Membran des „ovalen Fensters“ tritt selten auf, da sie durch die Steigbügel Fußplatte und durch Bindegewebe verstärkt ist.

Symptome:

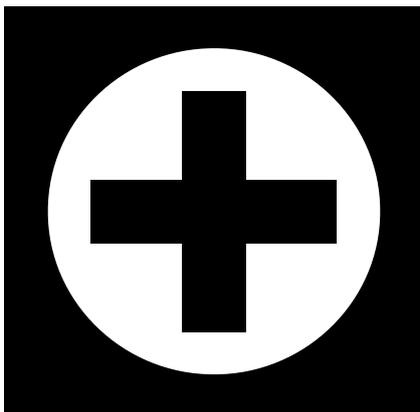
- Innenohr-**Schwerhörigkeit**, evtl. Hörverlust
- Schwindelgefühl (wg. Druckunterschied zwischen den beiden Paukenhöhlen, *alternobarer Drehschwindel*), Brechreiz, Gleichgewichtsprobleme, Orientierungsverlust mit der Gefahr eines unkontrollierten Notaufstieg
- evtl. Hörverlust, permanente Ohrgeräusche, bei Trommelfellriss: Blutungen
- permanente **Ohrgeräusche** [Tinnitus] (u.a. auch Blasengeräusche)
- Taucher hat das Gefühl "Wasser im Ohr"
- **anhaltender Drehschwindel**, dadurch Übelkeit

Teilweise treten die Symptome erst um Minuten **bis Stunden verzögert** auf (abhängig von der Größe des Membranrisses) und werden dann nicht mehr dem Tauchgang zugeordnet und folglich falsch behandelt!

Symptome sind sehr ernst zu nehmen!.

Innenohrschädigungen sind dringend behandlungsbedürftig!

Sofortmaßnahmen:



- Sofortiger Wiederaufstieg (= Abbruch des Tauchganges)!
- Hinsetzen und beruhigen.
- KEINE weiteren Druckausgleichsversuche
- Vermeiden (= verhindern!) von:
 - Anstrengung
 - Pressen beim Stuhlgang
 - Husten / Niesen / Schneuzen
 - Vor- und Zurücklehnen
- Keinem Lärm aussetzen.
- Absolute Bettruhe mit hochgelagertem Kopf.

Taucherarzt / HNO-Arzt sofort aufsuchen!

GEFAHR bleibender Schäden
(Schwerhörigkeit, Ertaubung)!

Bei Verdacht auf Ruptur des „Runden Fensters“:

- **Flachlagerung mit erhöhtem Kopf**
- **Fachkundigen HNO-Arzt sofort aufsuchen!**
- Jegliche Anstrengung, die zu einer Hirndrucksteigerung führt, ist zu vermeiden, (Insbesondere: schweres Heben, Husten, Valsalva-Manöver)!
- Beim Transport im Flugzeug: ausreichend abschwellendes Nasenspray zur Erleichterung des Druckausgleiches,

Behandlung:

Das „Runde Fenster“ muss so schnell wie möglich wieder verschlossen werden. Hierzu ist unter örtlicher Betäubung eine operative Eröffnung des Mittelohres notwendig. Der Verschluss des „Runden Fensters“ erfolgt durch Auflage von Fett- bzw. Bindegewebe.

Anschließend ist stationärer Aufenthalt mit strenger Bettruhe von etwa drei Tagen notwendig. Dabei ist ein Schnäuz- und Valsalva-Verbot einzuhalten (Vermeidung jeglicher Drucksteigerung).

Tauchverbot: mindestens 6 Wochen, eventuell lebenslang!

- **Keine Druckkammerbehandlung!**

Vorbeugen:**Druckausgleich niemals erzwingen!**

Der Druckausgleich sollte grundsätzlich besser mit Schluckbewegungen und nicht mit einem Valsalva-Manöver erfolgen.

4.1.4. **Unterdruckbarotrauma des äußeren Gehörganges** (Unterdruckbarotrauma des Außenohres)

Hypobares Barotrauma des äußeren Gehörganges
'external ear squeeze' (enql.)

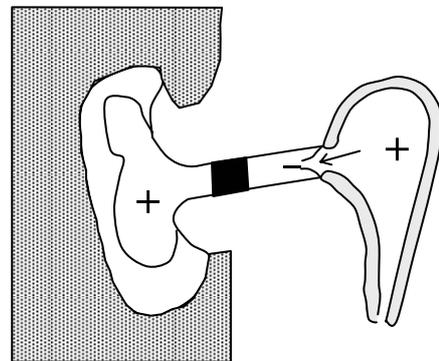
Ursache:

Relativer Unterdruck (ab ca. $\Delta p = 0,2$ bar) **im äußeren Gehörgang**

zwischen dem Trommelfell und einem hermetischen Verschluss(stück) (z. B.: Ohrenstöpsel, zu enge Kopfhaut, Maskenband über dem Ohr, Ohrenschmalzpfropfen [Ceruminalpfropf], Gehörgangsentzündung mit massiven Wucherungen [Exostosen])

Folge (Möglichkeit 1):

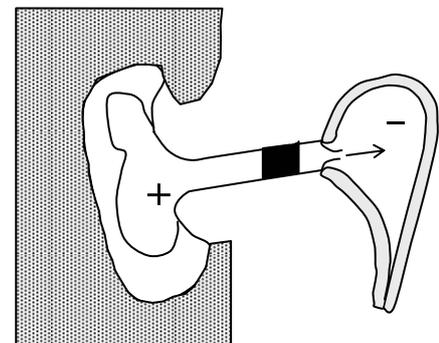
1. Ausgleich der Druckdifferenz durch Schwellungen und durch Blutung in den Gehörgang
2. Wölbung und evtl. Perforation (Riss) des Trommelfelles nach außen (ab $\Delta p = 0,3$ bar bis 0,9 bar).



Folge (Möglichkeit 2):

Bei gleichzeitigem Verschluß der Eustachischen Röhre

1. Beim Abtauchen Unterdruck im Mittelohr.
2. Ohrenstöpsel kann sich gegen Trommelfell pressen
3. Trommelfellriss nach innen

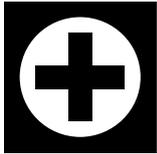


Symptome:

- (stechender) Schmerz (mit dem Druck zunehmend)
- Blutaustritt aus dem betroffenen Ohr
- Taubheitsgefühl (Schalleitungsschwerhörigkeit)
- Bei Trommelfell-Riss wie UB-Mittelohr.

Vorkommen:

Freitaucher, Gerätetaucher, Helmtaucher

Sofortmaßnahmen:

wie Unterdruckbarotrauma des Mittelohres

Behandlung:

Tauch- und Badeverbot (wie Unterdruckbarotrauma des Mittelohres)

Vorbeugen:

- **Keine Ohrenstöpsel verwenden!**
- **Ohrspülung gegen Ceruminalpfropf**

Bei sehr eng anliegenden Kopfhauben: In Höhe beider Ohren kleine Löcher in der Kopfhaube anbringen oder die Kopfhaube nach dem Abtauchen kurz etwas anheben, damit die Luft entweicht und durch das inkompressible Wasser ersetzt wird.

4.1.5. Unterdruckbarotrauma der Nasennebenhöhlen (NNH)

Hypobares Barotrauma der Nasennebenhöhlen
'sinus squeeze' (engl.)
npBNS = Negative Pressure Barotrauma of the Nasal

Wdh.: Die Nasennebenhöhlen sind luftgefüllte Räume mit knöchernen Wandungen, die mit Schleimhaut ausgekleidet sind. Die Schleimhaut ist stark mit schleimbildenden Drüsen, Blutgefäßen und Schwellkörpern ausgestattet.

Zu diesen Höhlen gehören: Stirnhöhle, (Ober-)Kiefernhöhlen, Siebbeinzellen und Keilbeinhöhlen. Sie stehen durch jeweils einen Kanal mit der Nasenhöhle in Verbindung. Die Warzenfortsatzzellen gehören ebenfalls zu den Nasennebenhöhlen. Sie werden vom Mittelohr aus belüftet.

Ursache:

Relativer Unterdruck in den betroffenen Nasennebenhöhlen verursacht durch **Verlegung** (Verschluss) **der Zugangswege** (Verbindungskanäle) durch angeschwollene Schleimhäute, Polypen, anatomische Missbildungen. Das Anschwellen dieser Schleimhäute wird meist verursacht durch Erkältungen (Schnupfen) oder durch Entzündungen in den Nasennebenhöhlen.

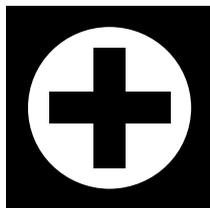
In Folge von Rauchen, Allergie oder Reizungen kann es ebenfalls zu einem Anschwellen der Schleimhäute kommen.

Folge:

Relativer Unterdruck	
25 cm WS (mbar)	Schleimhautschwellung und Ausschwitzen von Gewebsflüssigkeit
70 cm WS (mbar)	Hyperämie (Blutüberfüllung)
350-500 cm WS (mbar) [50% p↑]	Schwellungen der Schleimhaut und Blutungen in NNH. (Beim Auftauchen Austritt von blutiger Flüssigkeit über Rachen und Nase.)

Symptome:

- Als erste Anzeichen treten häufig in Tiefen von 2 bis 5 m Schmerzen im betroffenen Bereich (stark stechend, gut lokalisierbar) auf.
(Schmerz nimmt mit der Tiefe zu; wird dann aber bei gleichbleibender Tiefe geringer.)
- Je nach betroffener Nasennebenhöhle:
 - Stirnhöhle: Schmerzen im Augenbereich
 - Kiefernhöhle: stechender Schmerz vom Oberkiefer zu den Augen und in die Zahnreihe
 - Nasenhöhle: Nasenbluten, Zerreißen feinsten Blutgefäße (meist harmlos)
 - Keilbeinhöhle (selten): stechender Schmerz im Hinterkopf
 - Warzenfortsatzzellen: Schmerzen hinter dem Ohr
- Serös-blutiger Ausfluss beim Auftauchen, Röntgen: Verschattungen, (Blutspur in der Maske)
- Eine Schädigung der Schleimhäute kann auch ohne Schmerzen erfolgen. In diesen Fällen fand ein Druckausgleich durch Füllung des Hohlraumes mit Blut und Gewebsflüssigkeit statt. Kurz vor Erreichen der Wasseroberfläche kommt es dann zu einem Erguss der Flüssigkeiten in den Maskenraum.

Maßnahmen:

- Arzt aufsuchen wegen **Infektionsgefahr!**
- Schleimhautabschwellende Tropfen (Nasivin®).
- Evtl. Rotlicht.
- Ggf. Schmerzmittel.
- Ggf. Antibiotika (Neomycin/Bykomycin®).
- Tauchverbot bis Beschwerdefreiheit.

Vorbeugen:

Bei Erkältung nicht tauchen!

Die Wirkung von schleimhautabschwellenden Mitteln vor dem Tauchgang hält nur kurzzeitig an und führt in der Regel bereits während des Tauchganges wieder zu einem verstärkten Anschwellen der Schleimhäute und damit zu Barotraumen (insbesondere beim Austauchen).

4.1.6 Mikro-Unterdruckbarotrauma der Zähne (Dentales Barotrauma)

Hypobares Barotrauma der Zähne
'tooth squeeze' (engl.)
npDB = Negative Pressure Dental Barotrauma

Ursache:

Relativer Unterdruck in kleinen luftgefüllten Hohlräumen (Lufteinschlüssen) unter schadhafte Zahnfüllungen (Plomben, Inlays, Kronen) und bei Entzündungsherden an Zahnwurzeln mit haarfeinen Gängen nach außen.

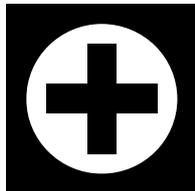
(Der Druckausgleich ist nur sehr langsam möglich – relativer Unterdruck.)

*Beim Aufstieg kann es entsprechend zu einer positiven Druckdifferenz kommen.
Siehe hierzu auch unter 4.3.2.1 Überdruckbarotrauma der Zähne.*

Symptome:

- (massive) Zahnschmerzen (ziehend, bohrend und lokalisiert)
Der Schmerz lässt nach erfolgtem Druckausgleich langsam nach.
- Blutungen
- beschädigter Zahn

Sofortmaßnahmen:



- Abbruch des Tauchganges
- ganz langsamer Aufstieg
- ggf. Schmerzmittel
- Zahnarzt aufsuchen
(ggf. Röntgen-Darstellung)



Behandlung:

Zahnärztliche Behandlung (ggf. Gebissanierung)

Vorkommen:

Freitaucher, Gerätetaucher, Helmtaucher

Hinweise:

Der Schmerz tritt nicht zwangsläufig am betroffenen Zahn, sondern kann auch in eine andere Stelle des Kiefers ausstrahlen.

Schmerzen in der oberen Zahnreihe sind oft Symptom eines Barotraumas der Kiefernhöhle.

4.1.7. Unterdruckbarotrauma der Haut

Hypobares Barotrauma der Haut
npBS = Negative Pressure Barotrauma of the Skin
'body squeeze' (engl.)
Alte Bezeichnung: "Äußeres Blaukommen"

Ursache:

Relativer Unterdruck in den Falten eines Trockentauchanzuges aus starrem Gewebe (bei unzureichender Belüftung).

Entsprechend kann auch ein Unterdruck in Trockentauchhandschuhen auftreten (Barotrauma der Hände).

Folge:

Reißen von Blutgefäßen in der Haut mit Einblutungen in das Gewebe

- Bluterguss (Hämatom)

Symptome:

- Schmerzen im betroffenen Bereich
- Linienförmige Hämatome (Blutergüsse)

Sofortmaßnahme:

keine

Behandlung:

keine

Vorbeugen:

Wollzeug unter dem Anzug und in den Handschuhen.

4.1.8. **Unterdruckbarotrauma des Gesichtes** **Unterdruckbarotrauma des Auges**

Hypobares Barotrauma des Gesichtes
Hypobares Barotrauma des Auges
'face squeeze' (engl.)
npOB = Negative Pressure Ocular Barotrauma

Ursache:

Relativer Unterdruck in der Tauchermaske verursacht durch fehlenden Druckausgleich (z. B. wg. Nasenklemme, Erkältung, *Verwendung einer Schwimmbrille*)

Folge:

Reißen von Blutgefäßen im betroffenen Bereich der Gesichtshaut mit Einblutungen in das Gewebe

- Bluterguß (Hämatom)

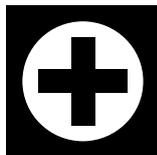
Falls das Auge betroffen ist:

- Einblutung in die Skleren
- Platzen von Augengefäßen zwischen Hornhaut und Iris
- Einblutung in die vordere Augenkammer

Symptome:

- Schmerzen aufgrund der Dehnung des Halteapparates des Auges (bleiben beim Auftauchen bestehen), Sauggefühl
- Hämatom in der Augengegend ("*Veilchen*", *Brillenhämatom*)
- Blutungen unter der Augenbindehaut – Schädigung des Augenninneren (Sehstörungen)
- Nasenbluten

Sofortmaßnahme:



Kalte Umschläge.
Sofortiges Auflegen von Eis.

Behandlung:

Empfohlen: keine Tauchgänge bis zum Abklingen der Symptome.
Bei Sehstörungen: Augenarzt aufsuchen.

Vorbeugen:

Druckausgleich in der Maske rechtzeitig herstellen!
Nasenklemmen nur in Vollmasken verwenden!
Tauchverbot bei Erkältung!
Nicht mit Schwimmmasken tauchen!

4.2 Isopressionsphase, atemgasbedingte Taucherkrankheiten (Intoxikationen)

Jedes Gas „i“ eines Atemgasgemisches wirkt ab einem bestimmten **Partialdruck p_i** und einer definierten **Einwirkdauer t_i** auf den menschlichen Organismus **giftig (toxisch)**. Dieser Schwellenwert ist individuell gering veränderlich und hängt **stark** von der **aktuellen** persönlichen Toleranzgrenze ab. Die persönliche Toleranzgrenze ergibt sich aus Alter, Geschlecht, aktueller Arbeitsleistung unter Wasser und Tagesform (abhängig von Dehydratation, Alkohol- und Nikotinmissbrauch, Kondition, Klimaanpassung, etc.).

Das Auftreten der atemgasbedingten Taucherkrankheiten hängt nicht von den Druckänderungen beim Ab- oder Auftauchen ab, sondern ist direkt abhängig vom Umgebungsdruck. Man ordnet diese Vergiftungen daher allgemein der Isopressionsphase zu.

Atemgasbedingten Taucherkrankheiten unter Überdruck:

Sauerstoffvergiftung	(Hyperoxie)
Sauerstoffmangel	(Hypoxie)
Kohlendioxidvergiftung	(Hyperkapnie)
Kohlenmonoxidvergiftung	
Stickstoffvergiftung	(Stickstoffnarkose, „Tiefenrausch“)

HPNS (high pressure neurological syndrome)
[Beim Tauchen mit Helium in Tiefen > 200 m.]

4.2.1. Sauerstoff [O₂] - Vergiftung, Hyperoxie

Ein Taucher ist während des Tauchgangs mit Druckluft immer einem erhöhten Sauerstoffpartialdruck (pO_2) ausgesetzt. Die Erhöhung des pO_2 wird als **Hyperoxie** (*Sauerstoffübersättigung*) bezeichnet.

Bei $pO_2 > 1$ bar im Atemgas wird hyperbarer Sauerstoff geatmet.

Historisches:

Paul Bert (frz. Forscher) beschrieb 1878 die toxische Wirkung des Sauerstoffs an Versuchstieren. Er beobachtete bei stark erhöhten pO_2 das Auftreten von Krämpfen. Diese Wirkung des Sauerstoffes auf das Zentralnervensystem (ZNS) wird deshalb als "Paul-Bert-Effekt" bezeichnet.

Der Pathologe **J. Lorrain Smith** beschrieb 1899 Lungenschädigungen bei Versuchstieren nach längerer Atmung von fast reinem Sauerstoff ($pO_2 = 0,75$ bar für vier Tage). Die beobachteten Veränderungen an der Lunge werden nach ihm als "Lorrain-Smith-Effekt" bezeichnet.

In Abhängigkeit von der Dauer der Einwirkung und vom Teildruck wirkt Sauerstoff giftig (toxisch).

Während ein $pO_2 \leq 0,5$ bar zeitlich unbegrenzt vertragen wird, kommt es beispielsweise bei einem $pO_2 \geq 1,4$ bar in nasser Umgebung (d.h. beim Tauchen) bereits nach etwa zwei Stunden zu Schädigungen der Atemwege (**pulmonale O₂-Giftigkeit**). In trockener Umgebung (z. B. in Taucherdruckkammer) wird ein pO_2 von 2,8 bar etwa 30 Minuten lang vertragen.

Bei stark erhöhten pO_2 kommt es nach kürzester Zeit zu Auswirkungen auf das ZNS (**neurologische O₂-Giftigkeit**) mit Symptomen wie Zuckungen um Mund und Augenlider, Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerzen und Sehstörungen bis hin zu tonischen Krämpfen (kontinuierliche Muskelkontraktion).



Die **Sauerstofftoleranz** ist abhängig:

- vom Individuum (Alter, Geschlecht, Kondition, Konstitution)
- **ändert sich von Tag zu Tag**
- ist verkürzt bei Arbeitsleistung
- ist unter Wasser geringer als in einer Druckkammer
- ist geringer bei erhöhtem CO₂-Gehalt im Blut
- ist geringer bei kalter oder sehr warmer Umgebung.

Pulmonale O₂-Giftigkeit

Die **pulmonale O₂-Giftigkeit** kann in Einheiten **UPTD** ("unit of pulmonary toxic dose", Lungentoxizitätsdosis) konkretisiert werden. Als Einheit 1 UPTD ist die Wirkung definiert, die bei 100% O₂-Atmung (bei 1 bar Umgebungsdruck) nach 1 Minute auftritt.

Es gilt die Formel:

$$\text{UPTD} = k_p \times t$$

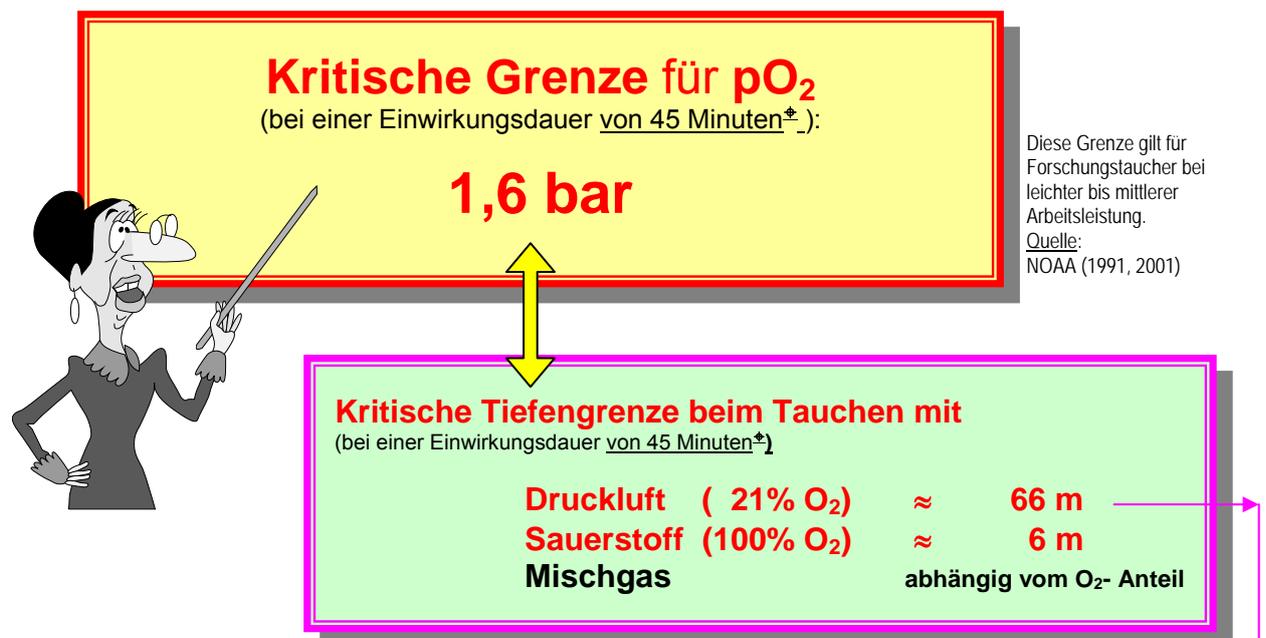
$$k_p = -1,2 \sqrt{\frac{0,5}{p-0,5}}$$

wobei t = Einwirkungsdauer in Minuten und k_p = Korrekturfaktor (abhängig vom Partialdruck, korreliert mit der Abnahme der Vitalkapazität).

Bei Behandlungen in der Taucherdruckkammer werden die einzelnen UPTD entsprechend den verschiedenen Sauerstoffbehandlungsstufen bestimmt und addiert.

Ab 300 UPTD/Tag wird es ungesund, bei 615/1425 UPTD/Tag wird die Vitalkapazität um

4% / 10% reduziert. Bei der Behandlung einer Dekompressionskrankheit (s. Kapitel 4.3.3.) vom Typ I soll die Gesamtdosis < 600 UPTD und bei Behandlung einer Dekompressionskrankheit vom Typ II < 1400 UPTD sein. Bei einer UPTD > 1425 kommt es zu nicht reversiblen Schädigungen des Verunfallten.



Aber: Immer die persönliche Toleranzgrenze beachten!

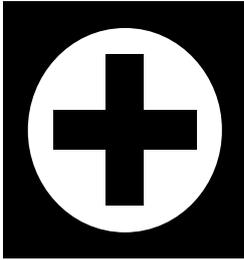
✦ Tauchgänge in großer Tiefe über 45 Minuten Dauer mit Druckluft als Atemgas sind aufgrund der dann notwendigen extrem langen Austauschpausen in der Praxis sehr unwahrscheinlich!

Forschungstaucher
dürfen schlauchversorgt mit Druckluft bis maximal 50 m Tiefe tauchen.
Sie sind damit ausreichend von der kritischen Grenze für O₂ entfernt!

Beim Tauchen mit dem Atemgasgemisch NITROX werden von den Tauchsportverbänden als Grenzwert angegeben:

	Maximal zulässiger Sauerstoffpartialdruck
In warmem Wasser ohne Anstrengung und ohne Stressfaktoren	1,6 bar
In kaltem Wasser , bei Anstrengung und weiteren Stressfaktoren	1,4 bar

Sauerstoffvergiftung		
	Pulmonale O₂-Giftigkeit	Neurologische O₂-Giftigkeit
Formen der Vergiftung	<p>langsam (subakut, chronisch)</p> <p>bei geringer Erhöhung des O₂-Partialdruckes und langer Einwirkdauer (z.B. 0,8 bar und T > 12- 48 Stunden)</p>	<p>schnell (akut)</p> <p>O₂-Partialdruck > 2-3 bar</p> <p>ohne Vorwarnzeichen (möglich ab pO₂ = 1,5 bar)</p> <p>gefährlicher, da schneller Verlauf</p>
Auftreten	Druckkammer , Langzeitaufenthalte in UW-Labors, Sättigungstauchen, (Beatmung)	insbesondere bei Kreislaufgeräten mit 100% Sauerstoff
Symptome	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trockenheitsgefühl in den Atemwegen ("Kratzen im Hals"), Hustenreiz ▪ atemabhängiger Schmerz hinter dem Brustbein ▪ Atemnot <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schüttelfrost, Fieber ▪ Lungenschädigungen, Ödembildung und Kollaps der Alveolen <ul style="list-style-type: none"> → Luftnot → O₂-Mangel (Hypoxie) → Bewusstlosigkeit → Tod † ▪ Lungenentzündung <hr/> <p>† Bei Bewusstlosigkeit: Gefahr des Ertrinkens!</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muskelzuckungen im Mundbereich, (Lippenzittern) ▪ Übelkeit, Schwindel ▪ Schüttelkrämpfe ▪ Störung der Atmung <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hände zittern, Kribbeln in Fingern und Zehen ▪ allgemeine Unruhe, Verwirrung, Angstgefühl ▪ Sehstörungen ("Tunnelblick") ▪ Hörstörungen (z. B. Geräusche: Musik, Glocken, Klopfen) ▪ Zungenbiß, Blutungen ▪ Krämpfe an Armen und Beinen <ul style="list-style-type: none"> → Bewusstlosigkeit → nach 15 Min. Tod † <hr/> <p>† Bei Bewusstlosigkeit: Gefahr des Ertrinkens!</p>
	Zwischen beiden Formen gibt es fließende Übergänge!	

Sofortmaßnahmen:

Verunfallten aus dem Sauerstoffmilieu holen: $pO_2 \downarrow$

Tauchgang abbrechen, austauchen, Wasser verlassen!

An der Wasseroberfläche möglichst nicht mehr aus dem Gerät atmen.
Die Symptome verschwinden dann meist innerhalb von Sekunden bis Minuten.

Bei **Krampfanfällen unter Wasser:**

- Taucher gegen Absinken sichern (festhalten).
- Kontrolliert austauchen!
- Verunfallter soll sein Mundstück wg. Ertrinkungsgefahr im Mund behalten!

Bei **Krampfanfällen über Wasser** (z. B. in einer Druckkammer):

- Atemmaske abnehmen!
- Kammerdruck während des Krampfanfalls nicht ändern (Gefahr einer Lungenüberdehnung).
- Verunfallten vor Verletzungen schützen (Kopf und Extremitäten polstern, Beißkeil gegen Zungenbiss (*schwierig!*))
- Unterkühlung vermeiden (in Decken hüllen)

Vorbeugung:

Erlaubte Einsatztiefen und -zeiten sowie Warnzeichen strikt beachten!

Bei Einsatz von Sauerstoff-Kreislaufgeräten:

- *Nicht tiefer als 5-6 m tauchen.*
- *Maximal 2 Stunden pro Tag tauchen.*

Beim Tauchen mit Atemgasgemisch Nitrox (Grenzwerte der Bundesmarine):

- | | |
|---|------------------|
| ❖ Nitrox B (60,0 % O_2 / 40,0 % N_2) | Max. Tiefe: 24 m |
| ❖ Nitrox C (40,0 % O_2 / 60,0 % N_2) | Max. Tiefe: 42 m |
| ❖ Nitrox D (32,5 % O_2 / 67,5 % N_2) | Max. Tiefe: 54 m |

4.2.2. Sauerstoff [O₂] - Mangel, Hypoxie

Der normale Anteil von Sauerstoff in der Atemluft liegt bei 21%. Sinkt dieser Anteil (bei normalem Umgebungsdruck von 1 bar) auf unter 16%, kommt es zu den ersten Erscheinungen von Sauerstoffmangel.

Über und unter Wasser gilt:

pO₂ < 0,16 bar → Sauerstoffmangel

Ursachen:

- ① Fehlender Luftvorrat.
- ② Zustand nach Hyperventilation
Beispiele:
 - Beim Streckentauchen: Schwimmbad-Blackout = Hypoxie im Gehirn.
 - Beim Freitaucher/Schnorcheltaucher (insbes. bei Hyperventilation).
- ③ Bei vermehrter Anstrengung (*zu viel Blei, Strömung, mangelnde Kondition, Gerätedefekt*)
 - höherer O₂-Bedarf, höhere CO₂-Produktion
 - Lufthunger, beschleunigte Atmung, Gefühl der Kurzatmigkeit
 - Essoufflement (*s. a. 2.7 und 4.2.3*)
 - O₂-Mangel und CO₂-Anstieg
- ④ Angst (*insbesondere bei Anfängern*)
 - Essoufflement mit fließendem Übergang zur CO₂-Vergiftung
- ⑤ Lungenschädigung (Lungenunterdruckbarotrauma, Lorain-Smith-Effekt)
- ⑥ CO in Atemluft → Blockade des Sauerstofftransportes im Blut (*s. a. 4.2.4*)
- ⑦ Beim Tauchen mit Mischgas: falsch gemischtes Atemgas (*hypoxisches Gasgemisch*)
- ⑧ Helmtaucher / Druckkammer: CO₂-Anstieg aufgrund unzureichender Spülung (*s.a. 4.2.3*)
(*Die Kohlendioxidvergiftung tritt als erstes Problem auf!*)
- ⑨ *Nur bei Kreislaufgeräten: falsches Gemisch im Atembeutel (d.h. O₂-Gehalt im Atembeutel zu gering, z. B. wegen unvollständigem Leeratmen vor dem Tauchen).*

Symptom:**Bewusstlosigkeit**

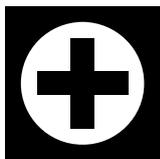
Sauerstoffmangel [Hypoxie]	
pO ₂ : 0,10 - 0,12 bar [10-12 % bei 1 bar Umgebungsdruck] (langsamer ↓ O ₂ -Atemgasanteil)	Hebung der Stimmung (falsches Wohlbefinden); Denk- und Konzentrationsschwäche, Verlust jeglicher Initiative, falsche Reaktion auf Notfälle, mangelhafte Arbeitsleistung
pO ₂ : < 0,10 bar [10% bei 1 bar Umgebungsdruck] (schnell eintretender O ₂ -Mangel)	Gedächtnislücke, Kreislauf- und Atemstörung, <u>Bewusstlosigkeit</u> , Tod †

Weiteres mögliches Symptom:

Leichte Zyanose = blau-rote Färbung von Haut und Schleimhäuten (Nagelbett, Lippen, Ohrplättchen, später: gesamte Haut) *(Dies wird unter Wasser meist nicht bemerkt.)*

Besondere Gefahr:

Es gibt keine vom Taucher deutlich registrierbaren Warnzeichen der drohenden Bewußtlosigkeit!

Sofortmaßnahme:

- **O₂-Atmung (möglichst 100%)**
- Anstrengungen vermeiden.
- Schnelles Atmen vermeiden.
- Falls notwendig: Atemspende (**sofort**)
- **Arzt** aufsuchen, bzw. Transport ins Krankenhaus

**Vorbeugung:**

- Gasgemisch vor dem Tauchgang analysieren.
- Richtig atmen!

4.2.3. Kohlendioxid [CO₂]-Vergiftung, Hyperkapnie

Wdh.: CO₂-Gehalt in atm. Luft: 0,03 bis 0,04 Vol.-%, in der Ausatemluft: ~ 4,5 Vol.-%.

CO₂ im Körper ist der stärkste Atemreiz.

CO₂-Produktion im menschlichen Körper ist von der körperlichen Aktivität abhängig.

→ Bei gleicher Aktivität keine Zunahme des pCO₂ im Blut mit der Tiefe, aber Abnahme des prozentualen Anteils am Gesamtvolumen des Atemgases in den Alveolen!

Atemgasverunreinigungen mit CO₂ wirken sich dagegen in größeren Tiefen stärker aus, da ein Anstieg von CO₂ in den Alveolen die Abgabe von CO₂ aus dem Blut erschwert.

Vergiftungserscheinungen,
wenn Kohlendioxid Anteil in atmosphärischer Luft (p = 1 bar)

> 0,5 Vol.-% (5000 ppm)

(MAK-Wert lt. Gewerbeverordnung)

[MAK = maximale Arbeitsplatzkonzentration]

Def.: 1 ppm (parts per million) = 0,0001 Vol.-% → 1 Molekül auf 10⁶ Gasmoleküle

Die DIN 3188 (Druckluft für Atemgeräte) erlaubt **nur 800 ml CO₂ pro m³** (entspricht **0,08 Vol.-%**).

Ursachen für erhöhte CO₂-Konzentrationen:

- ① Durch CO₂ verunreinigte Druckluft (CO₂-Kontamination des Atemgases)
(durch nicht richtig betriebenen Kompressor,
unzureichender Abfuhr des CO₂ (zu geringe Spülluftrate) aus Taucherdruckkammer,
in U-Booten oder bei Helmtauchern;
Atmen aus Rettungsweste, die mit CO₂ aus Patrone gefüllt wurde;
Atmen aus CO₂-Gasblasen in Höhlen oder in UW-Iglus)
- ② Pendelatmung
beim Atmen aus Rettungsweste (*nicht zulässig*)
bei Benutzung veralteter Zweischlauchautomaten (*nicht mehr im Handel*)
zu langer/dicker Schnorchel
- ③ Ungenügende Ventilation aufgrund einer vermehrten Arbeitsleistung mit Ermüdung der Atemmuskulatur
Aufgrund von: erhöhter Gasdichte in der Tiefe (*), starke Strömung, Kälte, Atemregler mit hohem Atemwiderstand, Taucher überbleit, enger Taucheranzug
Folge: Atmung nur noch im Bereich der inspiratorischen Reserve (Essoufflement (*s. a. 2.7*))

* Die Dichte des Atemgases nimmt mit der Tiefe zu und führt zu einem erhöhten Widerstand im Luftstrom sowohl im Atemregler als auch in den Atemwegen des Tauchers. Dieser Effekt kann durch enge Anzüge, Begurtung und/oder zu engsitzende aufgeblasene Auftriebsrettungsmittel verstärkt werden. Als Folge ist eine höhere Arbeitsleistung der Atemmuskulatur notwendig. Bei einigen Tauchen kann es deshalb zu einem Anstieg des alveolaren pCO₂ kommen (CO₂-Stau in der Lunge).

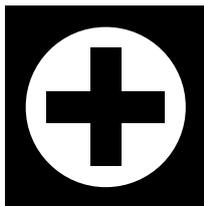
- ④ Fehlerhafte CO₂-Absorption wg. defekter Atemkalkpatrone bei O₂-Kreislaufgeräten, in U-Booten oder UW-Habitaten.

Symptome:

- Schnelles, tiefes Atmen
- Bei Essoufflement: schnelles, flaches Atmen
- Kopfschmerzen (massiv, pochend)
- Übelkeit, Schwindel

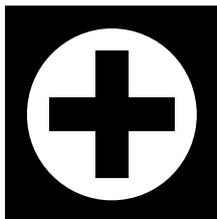
Kohlendioxidpartialdruck [pCO ₂]	Symptome
pCO ₂ ≥ 0,025 bar [2,5 % in atm. Luft]	Atemnot (Lufthunger) Kurzatmigkeit
pCO ₂ ≥ 0,05 bar [5 % in atm. Luft]	- erhebliche Beeinträchtigung der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit - Schweißausbruch, Übelkeit, Angstgefühl, Ohrensausen, starke Kopfschmerzen, Müdigkeit - Atmung stark vertieft und mühevoll - möglich: Erbrechen, Bewusstlosigkeit (ab > 20% durch O ₂ -Mangel)
pCO ₂ ≥ 0,20 bar [20 % in atm. Luft]	Tod ☠ durch <u>O₂-Mangel [Hypoxie]</u> (Erstickung)

Sofortmaßnahmen:



Aufstieg zur 1.Austauchstufe [*p* ↓]
Bei Essoufflement: tiefe, kräftige Atmung
Körperliche Anstrengungen vermeiden
(z.B. nicht gegen Strömung anschwimmen)
Verzicht auf Wechselatmung

Sofortmaßnahmen an der Oberfläche:



Falls **ansprechbar** (bei Bewußtsein):

- Frischluft
- Beruhigen!

Bei Bewusstlosigkeit:

- **Sauerstoffatmung**

Vorbeugung zu ③:

- Konditionstraining zur Verbesserung der Lungenfunktion (Erhöhung des maximal zu leistenden AMV)
- Vermeidung körperlichen Anstrengungen in größeren Tiefen (> 20 m)
- Atemregler mit geringem Atemwiderstand und hoher Luftlieferleistung verwenden.

Hinweise:

- CO₂-Anreicherung im Körper erhöht die Giftigkeit von O₂ und N₂. (Beispiel: Der Tiefenrausch tritt bereits in geringerer Tiefe auf!)
- CO₂-Anreicherung im Körper erhöht das Risiko einer Dekompressionserkrankung!

4.2.4. Kohlenmonoxid [CO] - Vergiftung

Kohlenmonoxid: Farb-, geschmack- und geruchloses Gas, das vom Menschen mit seinen Sinnesorganen nicht wahrgenommen werden kann, es entsteht bei unvollständiger Verbrennung organischen Materials, ein wenig leichter als Luft, Affinität zum Hämoglobin 200-300 mal größer als bei Sauerstoff → Sauerstofftransportstörung, keine Reizung der Schleimhäute

Vergiftungserscheinungen,
wenn Kohlenmonoxid Anteil in atmosphärischer Luft (p = 1 bar)
> 0,003 Vol.-% (30 ppm)
(MAK-Wert lt. Gewerbeverordnung)

Die DIN EN 12021 (Druckluft für Atemgeräte, Tauchtiefen bis 50 m) erlaubt **nur 15 ml CO pro m³** (entspricht **0,0015 Vol.-%**).

Ursache:

- CO - Verunreinigung der (bei der Flaschenfüllung) vom Kompressor angesaugten Luft (Kompressor mit Verbrennungsmotor, stark befahrene Autostraße, Rauchen an der Ansaugöffnung), (CO-Anteil in Auspuffgasen: 4 - 7 %, in Kfz-Abgasen max. 1% erlaubt)
- Defekter Kompressor (**Heißblauen des Kompressors**, z. B. wg. Verwendung des falschen Öls)

Folge:

Akuter Sauerstoffmangel (*Sauerstoffverarmung im Körper*)

Symptome:**Häufig keine Symptome (Frühzeichen) vor dem Einsetzen der Bewusstlosigkeit!****Ansonsten:**

Gleiche Zeichen wie schwere Hypoxie ("O₂-Mangel"):

(Stirn-) Kopfschmerzen

Beeinträchtigung der Sehleistung ("Flimmern")

Benommenheit

Ohrensausen

Übelkeit, Erbrechen

Zustand der Berauschtigkeit, Urteils- und Entschlusskraft geht verloren

Verlangsamung der Atmung

bei starker Wirkung:

starke Beeinträchtigung der Sehleistung

Oberflächliche Atmung (Kurzatmigkeit)

Rosafarbene Haut, "knallrote" Lippen

Gesichtsfarbe: von normal über hellrot / rosarot bis kirschrot (je nach COHb-Anteil)

Kollaps, Bewusstlosigkeit

→ tetanische Krämpfe (schmerzhafte Wundstarrkrämpfe)

→ Tod ☠

CO-Konzentration in Vol % (ppm) der Atemluft bei 1 bar Umgebungsdruck	Symptome
0,003 (30)	MAK-Wert; Keine Gesundheitsgefährdung zu erwarten.
0,01 (100)	Nach mehreren Stunden leichte Kopfschmerzen.
0,05 (500)	Nach mehreren Stunden heftige Kopfschmerzen, Schwindel, Ohnmachtsneigung.
0,1 - 0,2 (1000 - 2000)	Tod nach 30 Minuten
0,3 - 0,5 (3000 - 5000)	In wenigen Minuten Tod durch Atemlähmung und Herzversagen.

Tabelle (ähnlich) nach: Pschyrembel Klinisches Wörterbuch, 256.Auflage, Berlin, 1990

Hämoglobinblockierung

Definition: CO-Hb: Kohlenstoffmonoxidhämoglobin, auch: Carboxi-Hb

Bereits geringe CO-Konzentrationen in der Atemluft (bei 1 bar) führen zu gefährlichen Blockaden des Hämoglobins:

0,03 Vol.-% → 20 % CO-Hb

0,07 Vol.-% → 50 % CO-Hb

(nach Plafki, 2001)

Symptome der Kohlenmonoxidvergiftung in Abhängigkeit vom Grad der Hämoglobinblockierung.

% CO-Hb	Symptome
bis 10 %	bei Rauchern und Großstädtern meist keine Probleme, sonst leichte Sehstörungen
bis 20 %	Erweiterung der Hautkapillaren bei Anstrengung
bis 30 %	Ohrensausen, Sehstörungen (Flimmern), Schwindel, rauschartige Zustände, Übelkeit, Erbrechen
bis 40 %	rosafarbene Haut, Bewusstseins Einschränkungen und -verlust, Erregungs- und Angstzustände, oberflächliche Atmung, Kreislaufdepression, abdominelle Symptomatik
40 - 50 %	Cheyne-Stokes-Atmung (= rhythmisch wechselnder Atemtypus mit zu- und abnehmender Atemfrequenz und -amplitude sowie Atempausen) oder periodische Hyperventilation, positive Pyramidenbahnzeichen (= bestimmte Reflexe), gesteigerte Reflexe, tetanische Krämpfe, Pupillen eng oder weit oder ungleich groß, Schocksymptomatik, Körpertemperatur bis ca. 40 °C.
50 - 60 %	finale Hyperthermie, keine Reflexe mehr, kleinste punktförmige Einblutungen und Hautveränderungen.
60 - 80 %	Tod durch zentrale Atemlähmung nach ca. 10 min.

nach: Handbuch Tauch- und Hyperbarmedizin, Hrsg.: Almeling • Böhm • Welslau, 3. Erg.-L., Nov. 1998.

Hinweis:



Starkes Rauchen vor dem Tauchen erhöht den CO-Hb-Spiegel!

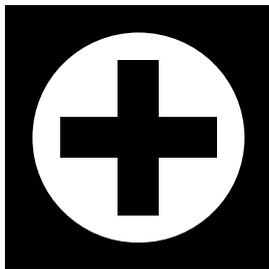
Der Normalwert liegt bei maximal 3 % CO-Hb.
Raucher mit 20 Zigaretten pro Tag ca. 5 % CO-Hb
Raucher mit mehr als 30 Zigaretten pro Tag bis 15 % CO-Hb.

Der Abbau des im Blut gebundenen CO einer Zigarette dauert etwa 12 Stunden!

Besonderheiten der CO-Wirkung bei Tauchern:

Die Giftigkeit von CO nimmt mit seinem Partialdruck zu.

Da bei normaler Atemluft aber auch gleichzeitig der Partialdruck des O₂ und damit seine **physikalische Löslichkeit** im Blut zunimmt, wird ein Teil der giftigen Wirkung (Reduzierung Versorgung der Zellen mit Sauerstoff) aufgehoben.

Sofortmaßnahmen:

- Frischluftatmung
 - **Sauerstoffatmung** (in schweren Fällen über PEEP-Ventil), falls möglich unter Beimischung von 4 % CO₂
 - (→ Atmung wird gesteigert)
 - CO-Abgabe erfolgt ca. vier mal so schnell)
 - **Ärztliche Hilfe anfordern!**
- Wenn der Verunfallte bei Bewusstsein ist:
45°-Oberkörper-Hochlagerung (Hirnödemprophylaxe)
 - Verwendetes Tauchgerät für Atemgasanalyse (z. B. mit Dräger-Prüfröhrchen) bereithalten bzw. mitgeben.

Behandlung in schweren Fällen:

- **Hyperbare O₂-Therapie (= Druckkammer) so schnell wie möglich,**
z.B. Notruf Bundesmarine Kiel, Druckkammer Hamburg

<u>Wirksamkeit der Druckkammerbehandlung bei CO-Vergiftung</u>		
Sauerstoffanteil	Tauchtiefendruck	Halbwertszeit zum Entfernen des CO
21 Vol % (normale Luft)	1 bar (Atmosphärendruck)	250 Minuten
100 Vol %	1 bar	60 Minuten
	2 bar	46 Minuten
	3 bar	23 Minuten

Vorbeugen:

- Kompressor (Verdichter) so aufstellen, dass die angesaugte Luft frei von Verunreinigungen ist.
- Prüfen der Grenzwerte der Luft mit Hilfe von Prüfröhrchen (Grenzwert: Max. 30 ml CO pro m³).
- Nur vom Kompressorhersteller freigegebenes Öl verwenden!
- Mindestens zwei Stunden (besser 12 Stunden) vor dem Tauchgang nicht rauchen.

4.2.5. Stickstoff [N₂] - Narkose ("Tiefenrausch")

IGN = Inergasnarkose Nitrogen narcosis (engl) Rapture of the deep (engl.)

<p>Definition: "Inertgase" sind Gase, die <u>keine biochemischen Reaktionen</u> im Körper eingehen. Beispiele: Stickstoff, Helium, Neon, Wasserstoff, Argon, Krypton, Xenon</p>
--

Alle Inertgase haben narkoseartige Wirkungen, die von ihrem Partialdruck abhängen!

Beispielsweise ist Helium gut geeignet für Tieftauchexperimente, während Xenon bereits bei normalem Umgebungsdruck Wirkungen zeigt!

Ursache:

- narkotisierende Wirkung des Stickstoffs (oder eines anderen Inertgases) unter erhöhten Druck, Zunahme mit steigendem Umgebungsdruck

Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit für eine N₂-Narkose erhöhen:

- Angst, Besorgnis, Unerfahrenheit
- Alkoholkonsum ("Martini-Regel")
- Medikamente/Drogen (z. B. Beruhigungsmittel)
- Ermüdung, Erschöpfung
- körperliche Anstrengung (z. B. Strömung), (CO₂-Überschuß)
- schnelles Abtauchen
- Psychische Anstrengung / Stress,
wg. - schlechter Sicht, Dunkelheit, Kälte

Erklärung des „Tiefenrausches“:

Es gibt derzeit unterschiedliche Erklärungsansätze, die jedoch alle noch nicht wissenschaftlich einwandfrei bewiesen werden konnten.

Folge:

Verminderte physische und psychische Leitungsfähigkeit

Symptome:**subjektiv:**

- **rauschartig** (individuell unterschiedlich in Intensität und Qualität.)
- Gefühl der Berauschtigkeit (ähnlich LSD-Wirkung)
- Trübung des Bewusstseins, Illusionen, Halluzinationen
- Gedächtnis- und Bewusstseinsbeschränkung
- metallischer Geschmack im Mund
- Röhrensehen

objektiv:

- Euphorie, Lustigkeit, Geschwätzigkeit
- Verlust der Kritikfähigkeit (*Zufriedenheit*)
- Verlangsamung der Reaktionszeit auf:
 - optische
 - akustisch
 - und Berührungsreize
- Schwächung der geistigen Aktivität
- Störung der Fähigkeit zu fein koordinierten Bewegungen
- Herabsetzung der Leistungsfähigkeit
- Verlust der eigenen Kontrolle
- Bewegungsverlust
- Bewusstseinsverlust
- Tod durch Ertrinken

Diese Symptome/Zeichen treten in der trockenen Druckkammer erst bei höheren Drücken auf!

Auftreten der Erscheinungen **ab 30 m Wassertiefe!**

Aber bei jedem Taucher **individuell unterschiedlich**
und insbesondere auch **von Tagesschwankungen abhängig**.

Bei einigen Tauchern treten Erscheinungen auch schon ab 25 m Wassertiefe auf.

deshalb:

Tauche nie allein!

Ausnahme:
Forschungstaucher unter Einhaltung der GUV-R 2112



Meistens treten die Erscheinungen in Tiefen ab 40 m auf.

Ab 50 m Tiefe sind bei jedem Taucher Symptome bemerkbar, ab 60 - 70 m kommt es zu deutlichen Zeichen!

Vorsicht: Bei Angst,
Alkoholgenuss oder/und
 Medikamentengebrauch
 kommt es eher und heftiger zum Tiefenrausch!

Sofortmaßnahme:



- Sofortiges Aufsuchen einer geringeren Tauchtiefe (p↓)
(Die Symptome verschwinden dann wieder völlig!)

Vorbeugen:

- **Nicht tiefer als 40 m tauchen!**
 (Dies entspricht der heute übliche Tauchgrenze für Sporttaucher.
 Sporttauchgänge in Tiefen > 30 m werden als "Tieftauchgänge" qualifiziert.)
- **Ständig auf den Tauchpartner achten!**
- **Selbstkritisch** das eigene Befinden kontrollieren.
(Z. B. Rechenaufgabe lösen, auf metallischen Geschmack im Mund achten)
Beim Auftreten erster Symptome niemals tiefer tauchen, Partner bzw. Signalmann unterrichten und sofort geringere Tauchtiefe aufsuchen.
- Langsam (über Tage) an größere Tiefen gewöhnen.
- Jeglichen Genuss von Alkohol und Aufputzmitteln vermeiden.
 Übermüdung und Überarbeitung vermeiden.
 Fit sein!

- Insbesondere beim **Forschungstauchen:**
**Überwachung von Zustand und Verhalten des Tauchers über
 Telefonverbindung; im Notfall mit der Signalleine an die Oberfläche holen!**

- Bei Tieftaucheinsätzen längere Gewöhnungsphase an der Tauchtiefe!
 (Achtung: Die Gewöhnung an die subjektiven Symptome verleitet zu der Fehleinschätzung, dass Selbstkritik und -kontrolle vorhanden seien. Dadurch wird die Gefahr schwerer Tauchunfälle erhöht!)

4.3. Dekompressionsphase, Druckabfall (p↓)

4.3.0. Der „**Tauchunfall**“ (Dekompressionsunfall, Dekompressionserkrankung, DCI)

Decompression Illness	(DCI)	<i>(engl.)</i>
Decompression Incident	(DCI)	<i>(engl.)</i>
Decompression Injury	(DCI)	<i>(engl.)</i>

Die **Leitlinie** „**Tauchunfall**“ vom 02.10.2005 (gültig bis Oktober 2008) wurde von einer Expertenrunde unter der Leitung von Dr. med. Wilhelm Welslau erstellt. Verantwortlich ist die Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin e. V. (GTÜM), vertreten durch ihren Vorstand. Unter dem Begriff „**Tauchunfall**“ wird im Sinne der Leitlinie ein potentiell lebensbedrohendes Ereignis verstanden, welches beim Tauchen durch den Druckabfall in der Dekompressionsphase hervorgerufen wird.

Hervorgerufen wird ein **Tauchunfall** durch die **Bildung freier Gasblasen in Blut und Gewebe**.

In Abhängigkeit vom Entstehungsmechanismus kann der Tauchunfall unterschieden werden in:

AGE

Arterielle Gasembolie

‘Arterial Gas Embolism’ *(engl.)*

DCS

Dekompressionskrankheit

‘Decompression sickness’ *(engl.)*

Zu einer **arteriellen Gasembolie (AGE)** kommt nach einer Überdehnung der Alveolen mit Einriss im Lungengewebe (**Überdruckbarotrauma** der Lunge). Folge ist ein ‚Einschwemmen‘ von Gasblasen in die umgebenden Blutgefäße. Diese Gasblasen werden dann im Blutsystem über das Herz in alle Bereiche des Körpers transportiert. Irgendwann bleiben diese Gasblasen stecken („**Gefäßverschluss**“), da sich die arteriellen Blutgefäßen ständig verzweigen und ihr Durchmesser dabei abnimmt. Die Sauerstoffversorgung nachfolgender Körperbereiche wird unterbrochen.

Zu einer **Dekompressionskrankheit (DCS)** kann es nach einem längeren Aufenthalt in Tauchtiefen größer 6 Meter mit einer entsprechenden Stickstoffaufsättigung kommen. Kehrt der Taucher zu schnell an die Oberfläche zurück, kommt es zur Bildung von Stickstoffblasen in Blut und Gewebe. Die Folge können Schmerzen und/oder neurologische Ausfälle sein. Treten die Stickstoffblasen aufgrund von Shuntmechanismen in das arterielle System über, kommt es auch hier zu einer AGE.

4.3.1. Überdehnung der Lunge, Lungenüberdruckbarotrauma

(Mögliche Folgen: **Atemgasembolie, Lungenriss, AGE, CAGE**)

Pulmonales Barotrauma (PBT)

Hyperbares Barotrauma der Lunge

Überdehnung der Lunge

Überblähung der Lunge

'pulmonary barotrauma (PBT) of ascent (engl.)

Positive Differenzdruckschäden der Lunge

ppPB = Positive Pressure Pulmonary Barotrauma

Wenn die Luft beim Auf- bzw. Austauchen nicht ausreichend aus allen Bereichen der Lunge abströmen kann, kommt es zu einer Überdehnung der Alveolen, bei größeren Druckdifferenzen zum Einriss eines Lungenabschnittes.

Je nach Ursachenstärke und betroffenem Bereich zeigen sich die unterschiedlichsten Manifestationen:

a) **Einriss im zentralen Lungenbereich**

(*Luftbläschen gelangen in die Blutbahn, „intravasal“*):

Behinderungen im Kreislauf und damit verbundenem Sauerstoffmangel in lebenswichtigen Körperbereichen mit entsprechenden Funktionsausfällen (z. B. Halbseitenlähmung)

b) **Einriss im peripheren Lungenbereich** (Mediastinum und/oder Lungenfell):

Behinderung der Atmung mit Atemnot, Schock.

Nach einer Statistik des NUADC

(*University of Rhode Island, vorwiegend Sporttaucher, C. Edmonds et. al., 1992*)

ist die **Überdehnung der Lunge**

nach dem Ertrinken (ca. 75%, z.B. wg. Panik, Ermüdung, Selbstüberschätzung, Geräteversagen)

mit etwa 25 % die **zweithäufigste Todesursache beim Tauchen!**

Ursache:

Die sich **beim Aufstieg** (*Abnahme des Umgebungsdruckes*) entsprechend dem Gesetz von Boyle und Mariotte **ausdehnende Luft kann nicht ausreichend aus der Lunge abströmen.**

Mögliche Gründe:

① **Schneller Aufstieg mit nicht ausreichender Ausatmung**

(z. B. geplanter oder ungeplanter Notaufstieg, Panikaufstieg).

Es kann nur eine begrenzte Luftmenge pro Zeiteinheit aus den Alveolarbereichen abströmen.

Beispiel 1:

Schnorcheltaucher atmet aus einem am Schwimmbadboden liegendem Leichttauchgerät und vergisst beim Austauchen das Ausatmen.

Beispiel 2:

Folgender Unfall hat sich in den USA bei starkem Seegang (sehr hohe Wellen) zugetragen: Ein Taucher hielt sich beim AUSTAUCHEN an einer fest an einer Kaimauer montierten Leiter fest. Er atmete in dem Augenblick tief ein, als sich über ihm ein Wellenberg befand. Wenig später sank der Tauchtiefendruck stark, da dem Wellenberg nun das Wellental folgte. Der resultierende Überdruck in der Lunge führte zu einer Überdehnung und dann zu einem Einriss beider Lungenflügel. Dieser Tauchunfall endete damit tödlich.

② Krankhafte Veränderungen der Lunge

Beispiele:

- Schleimablagerungen (z. B. bedingt durch Erkältung, Husten, Restzustände eines kurz vorher abgelaufenen Infektes)
- lokale Verengungen (z. B. Rauchen, Asthma, Allergien)
- intrabronchiale Strömungshindernisse (Lungenabnormitäten, wie Pleuraverwachsungen, Vernarbungen, alte Tuberkuloseherde, Zysten, Tumore, Emphysem, größere Lymphknoten)

③ Verschluss des Kehlkopfes durch einen Stimmritzenkrampf (Kehlkopfkrampf), meist als Panikreaktion aufgrund von **Angst** (= auslösender Faktor) oder (recht selten) bei Tauchanfängern durch Einatmen von Wasser ('Wasseraspilation')

Bei Notaufstiegen kann das Gefühl "Luft reicht nicht bis zur Oberfläche" zu Angst und Panik führen. Nach einer amerikanischen Statistik für den Zeitraum von 1970 bis 1979(?) haben sich im Tauchsport etwa 11% aller Lungenüberdruckunfälle bei Prüfungen und beim Üben von Notaufstiegen ereignet.

Bei einem Stimmritzenkrampf kommt es nach einiger Zeit aufgrund von Sauerstoffmangel zur Bewusstlosigkeit. Nach Eintritt der Bewusstlosigkeit löst sich der Krampf meistens wieder.

Durch willkürliches Zusammenpressen der Lippen kann nur eine knappe Sekunde lang ein Pressdruck von 200 mbar aufrecht gehalten werden. Abströmende Luft sprengt Lippen auf, bevor eine Schädigung der Alveolen eintritt.

Folge:

Relativer Überdruck in der Lunge mit unterschiedlichen Schädigungen/Wirkungen:

Mögliche Schädigungen:

- ⇒ Überdehnung und Reißen von Lungenbläschen
- ⇒ Atemgasembolie (z. B.: Herz, Gehirn, andere Organe)
- ⇒ Mediastinalemphysem
- ⇒ Subkutanes Emphysem
- ⇒ Pneumothorax

Die Symptome einer Lungenüberdehnung treten innerhalb von Sekunden bis Minuten auf!

Symptome, die erst 30 Minuten nach Erreichen der Wasseroberfläche auftreten, lassen in der Regel auf eine Dekompressionskrankheit (DCS) schließen.

Überdehnung und Reißen von Lungenbläschen (Alveolen)

Beim Tauchen mit oder kurz nach Erkältung kommt es in kleineren Bereichen der Lungen durch verstärkte Schleimbildung zum Verkleben der Bronchiolen (*Bronchusverengung*). Der Zugang zu den Alveolen ist somit verlegt (verschlossen). Beim Auftauchen kann dann die eingeschlossene Luft nicht vollständig und ungehindert abströmen, es kommt also zu einer regionalen Lungenüberblähung. Die Luft wird praktisch "gefangen gehalten". Dieser Vorgang wird in der Fachsprache bezeichnet als:

„Air trapping“

Auch durch Rauchen wird das Auftreten von „Air trapping“ verursacht und gefördert.

Relativer Überdruck	Folgen
0,05 bar <i>50 cm WS</i>	Kreislaufstörungen und Schwindelanfälle, da der starke Pressdruck den Rückstrom des Blutes aus den Körpervenen zum Herzen behindert.
> 0,07 - 0,10 bar <i>70-100 cm WS</i>	<p>❶ Einige Alveolen und Blutgefäße platzen (viele kleine Mikrorisse).</p> <p>❷ Zentraler Lungenriss → Eindringen von Luftblasen in die Lungenvenen und über das Herz weiter in die Arterien des großen Kreislaufes (Transport bis in das Kapillarnetz). ☒ Beim Auf- /Austauchen nehmen die (Mikro-) Luftblasen in der Blutbahn an Volumen zu.</p> <p>❸ Atemgasembolie, insbesondere:</p> <p style="text-align: right; border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;">AGE</p> <p><u>'arterial gas embolism'</u> (engl.) Arterielle Gasembolie</p> <p><u>Verstopfung der kleinen Arterien</u> durch Luftbläschen (25 µm bis 2 mm Durchmesser) <u>in lebenswichtigen Körperbereichen</u> mit entsprechenden Funktionsausfällen (Schädigung der Zellen durch Sauerstoffmangel).</p> <p style="text-align: right; border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;">CAGE</p> <p><u>'cerebral arterial gas embolism'</u> (engl.) Zerebrale Gasembolie</p> <p><u>Atemgasembolie des Gehirns</u> (Hirnfarkt)), überwiegend betroffen ist die rechte Hirnhälfte → komplette oder teilweiser Halbseitenlähmung auf der anderen Körperseite (linke Seite).</p> <p><i>Begriff „Embolie“</i> <i>Verstopfen eines Gefäßes durch ein mit dem Blutstrom verschleppten Fremdkörper (Embolus)</i> <i>(z. B. Blutgerinnsel, Fetttropfen, Luftblase, Gasblase)</i></p>

Merke:

Hustender Taucher darf nicht tauchen (bis Bronchitis abgeheilt ist)!

Symptome:

- Bei leichteren Fällen:
 - Müdigkeit, Schwäche, Verwirrtheit, Schwindel
 - Lähmung von Gliedern
 - Sehstörungen
- **Bewusstlosigkeit kurz nach Erreichen der Oberfläche** (typisch)
Auftreten:
 - 8,6% der Fälle: beim Aufstieg,
 - 83,6% der Fälle: innerhalb von 5 Minuten nach Erreichen der Oberfläche,
 - 7,8% der Fälle: 5-10 Minuten nach Erreichen der Oberfläche und
 - 0 % der Fälle: nach 10 Minuten.
- Ausfall von Sinnesqualitäten (*Seh-, Sprach-, Hör-, Geschmacks-, Geruchsstörungen*)
- **halbseitige Lähmungen** (meist linksseitig)
- Tod

Atemgasembolie des Herzens (koronare Atemgasembolie)
(Ursache: Zentraler Lungenriss)

Atemgasblasen in den Herzkranzgefäßen verstopfen Arterien, die den Herzmuskel versorgen
⇒ Auswirkungen und typische Zeichen wie **Herzinfarkt**

Symptome:

- Plötzlich einsetzender Herzschmerz (*Schmerz hinter dem Brustbein*). Der Schmerz kann in Arme, Schulter und/oder Oberbauch ausstrahlen.
- Herzrhythmusstörungen / unregelmäßiger Herzschlag
- Atemnot
- Unruhe
- Infarkt- und Schockzeichen
- Übelkeit, Erbrechen
- Blass-schweißige Haut
- Schwäche
- Tod

Mediastinalemphysem

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluss an das Mediastinum)

Nach dem Reißen von Alveolen (peripher oder zentral*) gelangt Luft in das Gebiet des Brustraums zwischen den beiden Lungenflügeln (Mediastinum, Mittelfellraum) und sammelt sich dort an. Es kommt dort also zu einer Aufweitung des Gewebes durch die Luftblasen (*Atemgasblasen*).

Dies wird als **Mediastinalemphysem** bezeichnet.

(Emphysem: = ungewöhnliche Luftansammlung im Gewebe, Luftgeschwulst)

**: Luft wandert entlang der Stammbronchien durch das lockere Bindegewebe zum Mediastinum.*

Durch die sich im Mediastinum ausdehnenden Luftblasen werden die dort angesiedelten Organe zusammengedrückt. Insbesondere sind betroffen die Luftröhre, die großen Blutgefäße zum Herzen und das Herz selbst. Der Kreislauf wird gestört und die Atmung erschwert.

Symptome:

- Stimmveränderung (Heiserkeit oder "blecherne Sprache" durch Nervenkompression)
- Schmerzen hinter dem Brustbein beim Einatmen
- Atemnot
- Völlegefühl des Halses
- Schockartige Symptome
- Bewusstlosigkeit

Auftreten der Symptome sofort oder auch einige Stunden verspätet.

Subkutanes Emphysem (Unterhaut-Emphysem)

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluß an das Mediastinum)

Nach dem Reißen von Alveolen (peripher oder zentral):

- ⇒ Luft bahnt sich einen Weg nach oben in die Schlüsselbeingruben
- ⇒ Luft in den Unterhautbereichen des Halses und der Schultern
- ⇒ kissenartige Hautaufwölbungen in diesen Körperstellen (die Gasblasen lassen sich im Gewebe verschieben), 'knistern' beim Betasten
- ⇒ Evtl.: Rückflussstörung in den Halsvenen

Symptome:

- Knisternde Haut (Luftansammlung), meist in Schlüsselbeingrube oder vorderem Halsbereich, selten im Nacken
- ("Blähhals" = Hautemphysem)
- Schluckbeschwerden
- Zunehmende Atemnot
- Heisere Stimme
- Raues Gefühl im Hals

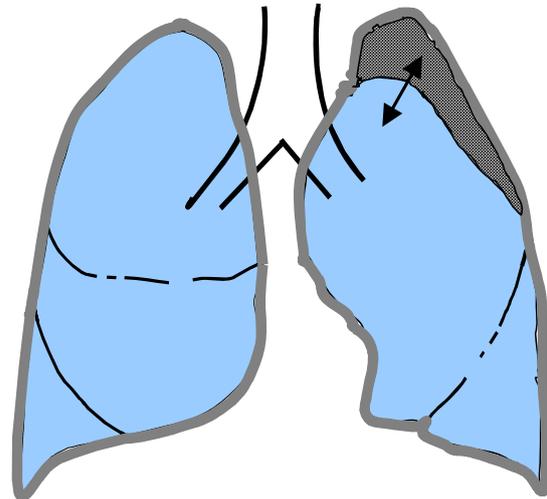
Auftreten der Symptome sofort oder auch einige Stunden verspätet.

Pneumothorax (Luftbrust)

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluß an den Pleuraspalt)

Riss im Bereich des Lungenfells

- ⇒ Luft dringt in den Pleuraspalt (*flüssigkeitsbenetzter Spalt zwischen Lungen- und Rippenfell*) ein.
- ⇒ Aufhebung des normalerweise negativen intrapleurales Druckes (Unterdruck).
Der betroffene Lungenflügel fällt aufgrund seiner natürlichen Spannung ganz oder teilweise zusammen. (Kollaps)
- ⇒ Behinderung des alveolaren Gasaustausches.



Erkennen:

- Keine oder abgeschwächte Atemgeräusche auf der verletzten Seite.
- Verletzter beugt sich nach der verletzten Seite (der andere Lungenflügel dehnt sich aus)
- Verletzter mag nicht liegen, er kann nur sitzen.

Symptome:

Bei leichter Ablösung kleiner Lungenpartien:

- Keine Symptome.

Bei stärkerer Ablösung größerer Lungenpartien:

- Atemnot, Kurzatmigkeit
- plötzlicher, stechender Brustschmerz auf betroffener Seite
- (in Schulter und Arm ausstrahlend)
- Hustenreiz
- Evtl. Abhusten von blutig-schaumigem Sekret
- oberflächliche, rasche Atmung
- Zyanose, blau-rote Färbung von Lippen/Haut
- (Wg. O₂-Mangel reduziertes Hämoglobin im Kapillarblut)
- Schockzeichen

Sofortmaßnahmen:

Lagerung auf der betroffenen Seite, damit sich die funktionsfähige Lunge voll entfalten kann.

Besondere Gefahr:

Mögliche Vorstufe für Spannungspneumothorax.

Spannungs-, Ventilpneumothorax

(extreme (schwere) Form des Pneumothorax)

(Ursache: Randständiger Lungenriss mit Anschluß an den Pleuraspalt)

Rissstelle an der Lunge wirkt wie ein Flatterventil (Entenschnabelventil, Einwegventil)

- ⇒ Verdrängung der Lunge durch die Ausdehnung der Luft im Pleuraspalt.
- ⇒ Bei jedem Einatmen füllt sich die Brusthöhle mit mehr und mehr Luft. Diese Luft kann nicht entweichen. Es entsteht somit ein Überdruck im Pleuraspalt.
- ⇒ Ist die Rissstelle bereits unter Wasser beim Auftauchen aufgetreten, wird der Effekt (Überdruck) entsprechend dem Gesetz von Boyle und Mariotte durch die Abnahme des Umgebungsdruckes weiter verstärkt!
- ⇒ Herz, große Gefäße sowie der andere Lungenflügel werden verlagert (verdrängt).
- ⇒ Herz und intakter Lungenflügel werden lebensbedrohend zusammengedrückt.
- ⇒ Die zum Herzen hinführenden Gefäße werden abgeknickt (erschwerter venöser Rückfluss).
- ⇒ Herz schlägt leer (Pumpversagen!), kaum Überlebenschance, falls kein Arzt dabei!
- ⇒ Herzbedingter Schock
- ⇒ Tod nach kurzer Zeit (O₂-Mangel)

Symptome:

wie beim Pneumothorax, aber deutlicher und dramatisch ansteigend

Besondere Kennzeichen:

- "beängstigende" Atemnot
- Zyanose (insbesondere der unteren Körperhälfte)

Notwendige lebensrettende Sofortmaßnahme
bei Spannungspneumothorax durch Arzt / ausgebildeten Helfer:

**Sofortige Druckentlastung des betroffenen Pleuraraumes durch
Punktion mit großkalibriger Kanüle!**

Die Leitlinie Tauchunfall unterscheidet nicht zwischen AGE und DCS, deshalb gelten die nachfolgend aufgelisteten Maßnahmen der Erste Hilfe für beide Ereignisse.

Einteilung der Symptome bei Verdacht auf „Tauchunfall“ (entspr. der Leitlinie Tauchunfall)	
Milde Symptome	<ul style="list-style-type: none">• Auffällige Müdigkeit• Hautjucken („Taucherflöhe“) <p>mit kompletter Rückbildung innerhalb von 30 Minuten nach Einleiten der spezifischen Erste-Hilfe-Maßnahmen.</p>
Schwere Symptome	<p>Bei Auftreten von Symptomen noch unter Wasser oder Vorliegen von anderen Symptomen wie:</p> <ul style="list-style-type: none">• Hautsymptome• Ameisenlaufen• Körperliche Schwäche• Taubheitsgefühl• Lähmungen• Atembeschwerden• Seh-, Hör-, Sprachstörungen• Schwindel• Übelkeit• Eingeschränktes Bewusstsein• Bewusstlosigkeit



Tauchunfall mit milden Symptomen

- 100% Sauerstoffatmung
- Flüssigkeitsgabe
- Bei Unterkühlung weiteren Wärmeverlust verhindern
- „5-Minuten-Neurocheck“
- Keine nasse Rekompensation
- Wenn symptomfrei innerhalb von 30 Minuten:
- Wenn noch Symptome nach 30 Minuten vorhanden



Tauchunfall mit schweren Symptomen

Lagerung

- Bei bewusstseinsklarem Taucher: Rückenlagerung

100% Sauerstoffatmung

Bei intakter Eigenatmung über dicht abschließende Maske mit
 O_2 -Absorber),

Bei unzureichender Eigenatmung Masken-Beatmung mit 100% O_2 -Zufuhr über:
b) O_2 -Reservoir und O_2 -Konstantdosierung

O_2 Demand-Ventil oder
 O_2 -Absorber

Flüssigkeitsgabe

- Bei bewusstseinsklarem Taucher:

Rettungsleitstelle alarmieren:

Weitere Maßnahmen:

5-Minuten-Neurocheck, Wärmeverlust verhindern, Überwachung und Erhaltung der Vitalfunktionen, ggf. HLW, Dokumentation (Persönliche Daten, Tauchgangsdaten, Symptomsverlauf, Behandlungsmaßnahmen), Gerätesicherstellung (Computer, Tiefenmesser)

Vorbeugende Maßnahmen gegen ein Lungenüberdruckbarotrauma:

- Mit Schleimhautschwellung nicht tauchen.
- Langsamer Aufstieg mit stetigem Atmen.
- Luft nicht anhalten, keine Sparatmung!
- Aufstiegsgeschwindigkeit mit der Annäherung zur Oberfläche reduzieren:

Tauchtiefe [m]	Max. Aufstiegsgeschwindigkeit [m min ⁻¹] für Sporttaucher
< 9	7
9 - 16	15
16 - 32	21
> 32	27

- *Beim Austauchen Husten vermeiden!*

Verhalten des Helfers (Tauchpartner) bei einem Stimmritzenkrampf:

Ein Stimmritzenkrampf ist an den fehlenden Ausatemblasen erkennbar. Der Helfer (Tauchpartner) muss den Eintritt der Bewusstlosigkeit und das Lösen des Krampfes abwarten, bevor er mit der Rettung des Verunfallten (Aufstieg zur Wasseroberfläche) beginnen kann.

Verhalten des Helfers bei einem Panikaufstieg gegenüber dem Verunfallten:

Weiteren Aufstieg verhindern durch Verringern des eigenen Auftriebes (Entleeren von Weste/Jacket, Ausatmen) und herunterziehen des Partners. Dazu erfolgt die Annäherung von hinten um nicht selbst durch Panikattacken gefährdet zu werden. Es ist darauf zu achten, dass der Verunfallte seinen Lungenautomaten im Mund behält (insbes. nach Stimmritzenkrampf mit folgender Bewusstlosigkeit).

4.3.2. Weitere Überdruckbarotraumata

(Alte Bezeichnung: *Inverse Barotraumata*)

4.3.2.1. Mikro-Überdruckbarotrauma der Zähne

Hyperbares Barotrauma der Zähne
DB = Dental Barotrauma

Ursache:

Kleine luftgefüllte Hohlräume unter Einlagen, Kronen und bei Entzündungsherden an Zahnwurzeln mit haarfeinen Gängen nach außen. Diese Hohlräume haben sich während des Tauchganges langsam mit Luft *entsprechend dem Gesetz von Boyle und Mariotte* gefüllt.

Folge:

Die komprimierte Luft kann beim Auf-/Austauchen nicht schnell genug entweichen. Es entwickelt sich ein relativer Überdruck, der auf den Zahnnerv wirkt.

In schweren Fällen wird die Füllung bzw. die kariöse Zahnwand weggesprengt.

Symptome:

- (Massive) Zahnschmerzen: ziehend, bohrend bis unerträglich.
(Die Schmerzen werden evtl. an eine andere Stelle des Kiefers projiziert.)
- Blutungen
- Beschädigter Zahn (ggf. Röntgen-Darstellung)

Sofortmaßnahmen:



- Langsam austauchen und Partner informieren, da im Extremfall Bewusstseinsverlust droht.
- Schmerzmittel
- Zahnarzt aufsuchen (ggf. Gebissanierung)



Vorbeugen:

Regelmäßige Zahnarztbesuche



4.3.2.2. Überdruckbarotrauma des Mittelohres

Ursache: Nachlassen der Wirkung von abschwellenden Arzneimitteln (aufgrund der Länge des Tauchganges)

Folge: Verschluss der Eustachischen Röhre (Tube), *Tubenfunktionsstörung*

- ⇒ Überdruck im Mittelohr
- ⇒ Verstärkte Wölbung des Trommelfells nach außen
- ⇒ Trommelfellriss

Symptome: Beim Auf-/Austauchen stechende Ohrenscherzen, die beim

- ⇒ Einreißen des Trommelfells schlagartig nachlassen.
- ⇒ Kältereiz ⇒ Störung des Gleichgewichtsorgans
- ⇒ **Drehschwindel und Verlust der Orientierung**
- ⇒ **Gefahr: Panik / unkontrollierter Notaufstieg**

Vorkommen, Sofortmaßnahmen, Behandlung:

Siehe Unterdruckbarotrauma des Mittelohres (4.1.2.)

4.3.2.3. Überdruckbarotrauma des Innenohres

(inkl. "implosives Innenohr-Barotrauma")

Ursache: Ventilverschluss der Eustachischen Röhre (Tube)

Folge: Luft kann nicht in den Nasenrachenraum entweichen

- ⇒ Überdruck im Mittelohr (s.a. 4.3.2.2)
- ⇒ Druck auf das Runde Fenster und auf das Ovale Fenster
- ⇒ Auslenkung der Membranen in Richtung Innenohr
- ⇒ selten: Ruptur der Membranen in Richtung Innenohr und nachfolgend Eintritt von Luft in das flüssigkeitsgefüllte Innenohr

Symptome: Schmerzhaftes Völlegefühl, Drehschwindel, Übelkeit und Erbrechen.
Sehr selten: Membranruptur (entspr. dem Unterdruckbarotrauma des Innenohres (s.a. 4.1.3.),
gelegentlich Schwerhörigkeit stärker ausgeprägt

Vorkommen, Sofortmaßnahmen, Behandlung:



Bei Ruptur wie Unterdruckbarotrauma des Innenohres (s. 4.1.3.)

4.3.2.4. Überdruckbarotrauma der Nasennebenhöhlen

Hyperbares Barotrauma der Nasennebenhöhlen
'sinus overpressure (reverse sinus squeeze)' (engl.)
ppBNS = Positive Pressure Barotrauma of the Nasal Sinus

Ursache:

Nachlassen abschwellender Arzneimittel (aufgrund der zeitlichen Länge des Tauchganges)
oder

flottierender Polyp

(flottieren': sich hin- und herbewegen)

(Polyp': Geschwulst, die sich aus Schleimhaut aufbaut.)

Folge:

Relativer Überdruck in der betroffenen Nasennebenhöhle

Symptome:

Beim Auf-/Austauchen starke, stechende Schmerzen mit meist schlagartiger Entlastung

⇒ serös-blutiger Ausfluss (meist aus dem Nasenloch der betroffenen Seite)

Sofortmaßnahmen:

Aufstieg verlangsamen, ggf. Tauchgang abbrechen.

Behandlung:

HNO-Arzt, evtl.: Tauchverbot!

Polyp(en) entfernen lassen

Vorbeugen:

Tauchverbot bei Erkältung

(⇐ Schwellung der Schleimhäute ⇐ Entzündungen der Nase und Nebenhöhlen)

4.3.2.5. Überdruckbarotrauma des Magen-Darm-Traktes

Hyperbares Barotrauma des Magen-Darm-Trakts
'over expansion of the stomach and intestine' (engl.)
ppGIB = Positive Pressure Gastrointestinal Barotrauma

Ursache:

Gasansammlung im Magen-Darm-Trakt
durch Verschlucken der Atemluft

(z. B. panikartig in Notsituationen oder wiederholt in kleinen Mengen bei Durchführung des Druckausgleiches)

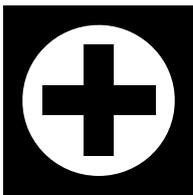
oder

aufgrund des Genusses blähender Speisen/Getränke (→ Darmgase)

Symptome:

- Völlegefühl
- Aufstoßen
- Blähungen
- Magenschmerzen, Magenkrämpfe
- Möglich: Behinderung der Atmung → Luftnot
- Extrem selten: Magen- oder Darmruptur (= akuter Notfall).

Sofortmaßnahmen:



- Auf-/Austauchen stoppen, Leibmassage von rechts nach links dem Dickdarmverlauf folgend.
- Entspannen und beruhigen, Darmgase auf natürlichem Wege entweichen lassen, anschließend Austauchen fortsetzen.
- Bei Magen-/Darmruptur mit Notarztwagen (NAW) ins Krankenhaus.

Behandlung:

Normalerweise ist eine Behandlung nicht notwendig.

Bei Magen-/Darmruptur: Operativer Eingriff.

Vorbeugen:

Vor dem Tauchgang keine blähenden Speisen essen und kohlenensäurehaltige Getränke meiden.

4.3.3. Dekompressionskrankheit(en) (DCS)

(Typ: (0), I, II)

Druckfallkrankheit
Stickstoffkrankheit
decompression sickness (DCS) (engl.)
Alte Bez.: Caissonkrankheit

decompression sickness

a condition caused by the formation of nitrogen bubbles in the blood or body tissues as the result of a sudden lowering of atmosphere pressure, as in deep-sea divers returning to the surface too quickly: it is characterised by tightness in the chest, by pains in the joints, and by convulsion and collapse in severe cases.

(aus: Webster's New World Dictionary, second college edition, 1980, New York: Simon & Schuster)

Überblick über die Dekompressionskrankheit

Beim Tauchen ändern sich entsprechend dem aktuellen Tauchtiefendruck (Umgebungsdruck) die Partialdrücke der einzelnen Atemgase. Als Verursacher einer typischen Taucherkrankheit ist das Inertgas Stickstoff (N₂) dabei besonders zu beachten. Entsprechend seinem Partialdruck (pN₂) wird es vom menschlichen Körper aufgenommen und in den unterschiedlichen Geweben (z.B. Blut, Lymphe, Fett) in Abhängigkeit vom jeweiligen Löslichkeitskoeffizienten gelöst (*Gesetz von Henry, 1.5.6*). Bei verdoppeltem Partialdruck (z. B. Abtauchen von der Oberfläche auf 10 m Wassertiefe) wird sich nach Ablauf einer bestimmten Sättigungszeit die doppelte Menge Stickstoff im Körper des Tauchers befinden. Die Dauer bis zum Erreichen der vollständigen Sättigung hängt ab von der Durchblutung der jeweiligen Gewebeart. Eine vollständige N₂-Sättigung des langsamsten Gewebes dauert etwa vier Tage. Fett oder fett-haltige Gewebe nehmen etwa fünfmal mehr Stickstoff auf als wässrige Gewebe.

Gewebe lassen sich entsprechend ihrer "Sättigungsbereitschaft" einteilen:

- l a n g s a m e Gewebe (z. B. Nervengewebe (Rückenmark, ZNS))
- m i t t l e r e Gewebe (z. B. Knorpel, Sehnen, Bänder)
- s c h n e l l e Gewebe (Gewebsflüssigkeit, Blut)

Beim Aus- bzw. Auftauchen muss unter physiologisch tolerierbaren Bedingungen der im Körper zusätzlich gelöste Stickstoff wieder abgeatmet werden. Durch die Senkung des Umgebungsdruckes bilden dabei sich im Gewebe immer Mikrogasblasen! Zirkulierende Blasen mit einem Radius > 40 µm lassen sich mit Ultraschall (Doppler-Effekt) nachweisen, falls mehrere Gasblasen vorhanden sind. Einzelne Gasblasen sind ab einem Radius > 150 µm erkennbar. Der Begriff "Mikrogasblasen" bezog sich ursprünglich auf die Blasen mit einem Radius < 40 µm, die mit dem Doppler-Verfahren nicht nachweisbar sind. Inzwischen wird der Begriff teilweise auch für etwas größere Blasen verwendet. Wenn es als Folge von Stickstoffblasen zu Schädigungen der Körpergewebe kommt, spricht man von einer **Dekompressionskrankheit**. Bei einem zu schnellen/großen Druckabfall kommt es in allen Gebieten des menschlichen Körpers zu einem regelrechten "Ausperlen" der Stickstoffblasen (ähnlich dem Geschehen beim Öffnen einer Sektflasche!). Diese Gasblasen "verstopfen" die Kapillaren und verursachen damit in den betroffenen Gebieten eine Sauerstoffunterversorgung (Hypoxie) mit entsprechenden Funktionsausfällen. Bevorzugte Regionen der Blasenbildung sind die Gelen-

ke (insbesondere: Knie-, Ellenbogen- und Oberarmgelenk) und das Rückenmark (\Rightarrow sensor-motorische Ausfälle). Durch eine Erhöhung der Körpertemperatur (z. B. heißes Duschen/-Baden oder Saunabesuch direkt nach dem Tauchgang) wird die N_2 -Löslichkeit weiter herabgesetzt und die Blasenbildung beschleunigt. Beim Tauchen kommt es außerdem zu einer verstärkten Harnproduktion und der damit verbundenen Dehydratation der Gewebe. Das eingedickte Blut fließt langsamer und die Abgabe des N_2 über die Lunge verzögert sich.

Aus dem Gewebe in die Blutbahnen eingeschwemmte Stickstoffblasen werden über das venöse Blut zur Lunge transportiert und dort herausgefiltert (Diffusion in die Alveolen). Bei einem erhöhten venösen Blasenanteil werden die Bronchien verengt und es kommt zu Lungenreizungen mit Hustenanfällen (engl. 'chokes'). Die Filterkapazität der Lungen wird überschritten und das Blut gelangt teilweise ohne Kontakt mit den Alveolargasen in den arteriellen Kreislauf (*arteriellen Schenkel*). Diese vermehrte venöse Zumischung verzögert die N_2 -Abgabe mit der Atmung. Sie wird als Rechts-Links-Shunt bezeichnet (A. A. Bühlmann, 1993). Ähnlich der arteriellen Gasembolie (AGE) infolge eines Lungenbarotraumas führen auch die Stickstoffbläschen zu einer Sauerstoff- Unterversorgung mit Schädigungen im zentralen Nervensystem (ZNS) und/oder anderen betroffenen Bereichen.

Auch unmittelbar nach einem Tauchgang kommt es noch zur Einschwemmung von Mikrogasblasen aus dem Gewebe in das venöse Blut. Infolge der Anhäufung von Mikrogasblasen in den Lungenkapillaren kommt es erst etwa 45-60 Minuten nach dem Tauchgang zur stärksten Ausprägung des Rechts-Links-Shunts. Ungefähr drei Stunden nach dem Tauchgang werden wieder normale Werte erreicht. Bei Wiederholungstauchgängen ist dieser Effekt zu berücksichtigen.

Im Anschluss an Tauchereinsätze darf der Umgebungsdruck nicht sofort zusätzlich gesenkt werden. Dies wäre beispielsweise bei einem Flug oder einer Fahrt über die Berge vom Tauchgebiet zum Wohnort der Fall. In Abhängigkeit von den durchgeführten Tauchgängen sind Wartezeiten bis über 48 Stunden notwendig!

Dekompressionskrankheit

(Zusammenfassung)

Bei Tauchgängen kommt es in Abhängigkeit von Tauchtiefe und Tauchzeit zu einer vermehrten Lösung von Stickstoff im Körper.

Erfolgt das Auftauchen bzw. das Austauchen des Tauchers zu schnell, kommt es zur **Dekompressionskrankheit**. Dies gilt insbesondere beim Nichteinhalten von notwendigen Austauschstufen. Der Stickstoff kann dann nicht langsam genug aus dem Gewebe entbinden. Er tritt (*nach Überschreiten der Toleranzwerte des N_2 -Überdruckes*) in Form von Gasblasen aus.

Diese Gasblasen schädigen das Gewebe. In den Blutgefäßen werden diese Gasblasen bis zu den Kapillaren transportieren. Dort bleiben sie in den Endverzweigungen stecken und unterbrechen den Blutstrom. Diese „Verstopfung eines Blutgefäßes“ wird als **„Embolie“** bezeichnet, in diesem Fall als Gasembolie oder Stickstoffembolie. (*Im Gegensatz hierzu handelt es sich bei dem Überdruckbarotrauma der Lunge um eine „Atemgasembolie“.*)

Durch die Unterbrechung des Blutstroms wird das nachfolgende Gewebe nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt und geht dadurch zugrunde. Je nach betroffenem Bereich kommt es dann zu Funktionsausfällen verschiedenster Ausprägung.

Will man nach einem Tauchgang ohne Einhaltung von Austauschpausen direkt zur Oberfläche auftauchen, dann darf man sich auf der maximal erreichten Tauchtiefe nur eine bestimmte Zeit aufgehalten haben. Diese maximal erlaubte Tauchzeit, die sogenannte **„Nullzeit“**, kann man den „Austachtabellen“ entnehmen.

Begriff: Nullzeit



"Nullzeit"

(für eine bestimmte Tiefe)

**Tauchzeit,
bis zu deren Erreichen keine Haltezeiten
auf Austauschstufen notwendig sind.**

Beachte:

Auch bei genauer Einhaltung der Nullzeit besteht immer ein Restrisiko eines Dekompressionsunfalls.

Maximale Tauchtiefe	Nullzeit	
	für Forschungstaucher (nach GUV-R 2112) Höchstzulässige Aufstiegsgeschwindigkeit 10 m/min	für Sporttaucher (nach DECO '2000) Aufstiegsgeschwindigkeit 10 m/min
10 m	Für Tauchtiefen bis 10,5 m sind in Abhängigkeit vom Oberflächenintervall (in Stunden) maximale Aufenthaltszeiten unter Wasser erlaubt (Tabelle 1 der GUV- 2112).	keine Angaben
12 m	165 min	140 min
15 m	80 min	72 min
18 m	50 min	45 min
21 m	35 min	31 min
30 m	15 min	15 min
42 m	7 min	7 min
50 m	5 min	51 m 5 min
63 m	-----	2 min

Geschichtliches zum Thema:

Dekompressionskrankheit / Austausch Tabellen:

- 332 v. Chr. *Aristoteles beschreibt Symptome der Dekompressionskrankheit bei Perlen- und Schwammtauchern.*
- 1654 *Otto von Guericke (eigentlich Gericke), Physiker, 1602-1686, erfindet Pumpe, die Luft aus einem Behälter absaugen kann.*
- 1670 *Robert Boyle, Physiker und Chemiker, 1627-1691, untersucht als Erster die Dekompressionskrankheit, er dekomprimiert eine Viper (Natter) und entdeckt dabei in einem der Augen der Viper eine sich bewegende Gasblase*
- 1717 *Edmond Halley, engl. Astronom, 1656-1742, erfindet die erste benutzbare "Taucherglocke"*
- um 1850 *Erstes Auftreten der Dekompressionskrankheit bei Arbeiten im "Caisson" (frz., Senkkasten), (Erfinder: frz. Ingenieur Triger), beobachtete Erscheinungen: meist "Gelenkschmerzen", aber immer erst nach Verlassen des Caissons.*
- 1870-1890 *Paul Bert, frz. Physiologe, verfasst Buch "La pression barométrique", entdeckt, dass die große Menge freigesetzten Gases die Dekompressionskrankheit verursacht und stellt fest, dass N₂ der Hauptbestandteil ist.*
- 1909 *Bau des East-River-Tunnels für die Pennsylvania Road in den USA, dabei 3692 Fälle der Caisson-Krankheit, davon 20 tödlich.*
- Marinen der Welt entdecken Unterwasser-Aktionen als notwendige Bestandteile der modernen Kriegsführung, bedeutendste Periode in der Entwicklung der Dekompressionstheorie.*
- 1906 **Prof. John Scott Haldane**, engl. Physiologe und philosoph. Schriftsteller, 1860-1936, erhält Forschungsauftrag von der Royal Navy, führt viele Tierversuche (insbesondere mit Ziegen) durch.
- 1908 Übernahme der Austausch Tabellen von Haldane durch die Royal Navy**
- 1915 *nach Überarbeitung durch French und Stillson (F&R) → Navy*
- 1972 *Prof. Dr. A. A. Bühlmann erstellt die erste Bergsee-Tabelle*

Die nachfolgende Tabelle gibt die "klassische" Einteilung der Dekompressionskrankheit wieder. Diese Tabelle stellt vielfach noch die Grundlage für die Behandlung von Tauchunfällen in der Druckkammer dar. Auch aus didaktischen Gründen und aufgrund ihrer starken Verankerung in der gegenwärtigen "taucherischen Begriffswelt" wird sie hier noch verwendet.

"Klassische" Einteilung ("Typen") der Dekompressionskrankheit	
DCS I (Decompression sickness, Type I)	DCS II (Decompression sickness, Type II)
Nur Schmerzen , leichte Symptome, nicht lebensbedrohend, aber evtl. Beginn von DCS II.	Gefährliche Erscheinungen (mit und ohne Schmerzen, anomale körperliche Symptome)
Schmerzen in oder nahe einem Gelenk und in den Extremitäten; Bewegungsstörungen, Juckreiz, Hautrötungen, Schwellungen	Störungen des ZNS (Zentralnervensystem), Herzstörungen, Störungen der Atmung, Innenohrschädigungen, Symptome vom Typ I, wenn sie unter Überdruck entstehen, andere Erscheinungen
außerdem als Spätwirkung :	
Chronische Dekompressionsschäden	

**Zeitraum des Auftretens der Erscheinungen (DCS I und II)
nach der Überdruckexposition:**

Die Symptome treten innerhalb von 24 Stunden auf.

Meist sind sie bereits nach wenigen Stunden erkennbar, wobei
 60 % innerhalb von 30 Minuten,
 10 % nach 30 - 60 Minuten,
 1 - 4 % nach 13 - 24 Stunden
 und
 0,3 - 4 % nach 24 Stunden.

Beim DCS Typ I meist verzögertes Auftreten der Symptome (teilweise erst nach Stunden).

Tabelle der Dekompressionskrankheiten			
Form der Krankheit	Typ	Ursache	Symptome
	DCS 0	Mikrogasblasen	Kopfschmerzen leichte Müdigkeit
Juckreiz (" Taucherflöhe ") <i>(Dekompressionskrankheit der Haut von einigen Autoren auch als "skinbends" (Haut-Bends) bezeichnet)</i>	DCS I	kleinste N ₂ -Bläschen in den Hautkapillaren	<ul style="list-style-type: none"> ▪ starker Juckreiz ("Taucherflöhe") ▪ fleckenförmige (punktförmige) Rötungen ▪ Auftreten meist am Oberkörper ▪ Auftreten meist bei "Nicht-Wasser-Tauchgängen" (Druckkammer, Trockentauchanzug)
Bends (Gelenkschmerzen) <i>(Vom engl.: "to bend" - beugen, wegen der gebeugten Haltung des Verletzten aufgrund von Schmerzen.)</i>	DCS I	N ₂ -Bläschen in den Gelenkkapseln (Reizung der Schmerzrezeptoren in der Kapsel) (Gelenke sind schlechter durchblutet als andere Gewebe, langsamer N ₂ -Abbau.) Auftreten hauptsächlich in den großen, stark belasteten Gelenken, wie: Knie-, Sprung-, Schulter- und Ellenbogengelenke, teilweise: vorübergehende Funktionsstörungen von Muskeln.	<p>Muskel- und Gelenkerscheinungen (-Schmerzen) meist verbunden mit:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Allgem. Schwächegefühl ▪ Frösteln ▪ Schweißausbruch ▪ Fieber <p>Harmloseste Form: Schmerzhafes Gefühl im Gelenk, lässt nach kurzer Zeit nach.</p> <p>Extreme Form: Schmerzen halten über Tage an, Patient ist vor Schmerzen bewegungsunfähig.</p>
Hustenattacken ("Chokes") <i>(vom engl.: "to choke" - ersticken)</i> Lungenmanifestation (Luftnot, Embolie)	DCS II "kardiopulmonal"	N ₂ -Bläschen werden durch das Blut zur Lunge transportiert und blockieren dort den Gasaustausch. Auftreten bei extremer Nichtbeachtung von Austauchzeiten! Gelangen Gasblasen über den Blutkreislauf in die Herzkranzgefäße (Lungen-Shunt): Herzinfarkt (Rechtsherzversagen)	<p>Stechender Schmerz bei tiefer Atmung → flache Atmung, brennende Schmerzen hinter dem Brustbein, akute Atemnot mit Hustenreiz, Erstickungsgefühl,</p> <p>aschgraues Gesicht, Blaufärbung der Lippen, Zyanose, schwacher Puls (= Schockzeichen) blutiger Auswurf, Schock</p>

Tabelle der Dekompressionskrankheiten			
Form der Krankheit	Typ	Ursache	Symptome
<p>Lähmungser-scheinungen des ZNS</p> <p>(Gehirn [cerebral], Rückenmark [spinal], Innenohr)</p> <p><i>Innenohrmanifestationen werden auch als "staggers" bezeichnet.</i></p>	<p>DCS II</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">"neurologisch"</p>	<p>N₂-Bläschen im Rückenmark und/oder im Gehirn und/oder Innenohr</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ausfall bestimmter Nervenstränge und der von ihnen durchgezogenen Muskeln • Querschnittslähmungen, seltener Halbseitenlähmung • Innenohrschädigungen • Lähmung von Blase und Mastdarm 	<p>Querschnittslähmungen, seltener Halbseitenlähmung.</p> <p>Bei Innenohrschädigungen: Schwindel, Übelkeit, Erbrechen, evtl. Hörstörungen, Tinnitus, Ohrensausen</p> <p>Auffällige Wesensänderungen (Verhaltensänderungen), z. B. Unfähigkeit zur Durchführung einfacher Routine-Handgriffe wie Öffnen der Gürtelschnalle.</p> <p>Unbestimmte, gürtelförmige Schmerzen im Nieren- und Beckenbereich (<i>wie beim Arbeiten im Garten</i>), heimtückische Form des DCS II, da vom Taucher kaum beachtet (<i>Taucher denkt: "Beschwerden kommen vom Tragen des Bleigewichtsgurtes"</i>), Ursache: N₂-Blasen im unteren Rückenmark (zuständig für diesen Hautbereich).</p> <p>Fleckenförmig verstreute Taubheit (Kribbeln, Missempfindungen) in den Beinen.</p> <p>Sehstörungen (Doppel-, Röhren-Sehen), Gesichtsfeld-Ausfälle</p> <p>Störung wichtiger Hirnfunktionen (z.B. Atemzentrum)</p>
<p>Chronische Schäden</p> <p>(<i>"aseptische Knochennekrosen"</i>) (<i>bakterienfreies Absterben des Gewebes</i>)</p>	--	"Stumme" N ₂ -Bläschen im Gelenkknorpel	<p>Knochengewebszerfall in Gelenknähe</p> <p>Auftreten meist erst nach Monaten oder nach Jahren.</p>

„Offenes Foramen ovale“ und DCS

Das „offene Foramen ovale“ ist definiert als ein offenes ovales Loch (*Foramen*) zwischen dem rechten und dem linken Vorhof des Herzens.

[Alternative Bezeichnung: persistierendes Foramen ovale (**PFO**)]

Im embryonalen Kreislauf dient es als Kurzschlussweg zwischen venösem und arteriellen Kreislauf. Es schließt sich nach der Geburt (*bis zum 18. bis 30. Lebensjahr*) nicht immer oder nicht immer vollständig (*bei 15 bis 30 % der Bevölkerung*). Dies ist normalerweise kein Problem, da der Druck im linken Vorhof etwas höher als im rechten Vorhof ist und es deshalb zu keinem direkten Übertritt von Blut (oder Gasblasen) kommt.

Bei einer pulmonalen Hypertonie (*Erhöhung des Blutdrucks im Lungenkreislauf*) größer 120 % (z. B. *beim Husten, Druckausgleich, Pressatmung*) ist ein Übertritt der venösen Gasblasen in den arteriellen Kreislauf möglich. Dies ist eine denkbare Ursache für Dekompressionsunfälle.

Bei unklaren Dekompressionsunfällen (z. B. bei Tauchgängen innerhalb der Nullzeit) sollte immer an eine solche Möglichkeit gedacht und ggf. untersucht werden.



Tauchunfall mit milden Symptomen

- 100% Sauerstoffatmung
- Flüssigkeitsgabe
- Bei Unterkühlung weiteren Wärmeverlust verhindern
- „5-Minuten-Neurocheck“
- Keine nasse Rekompensation
- Wenn symptomfrei innerhalb von 30 Minuten:
- Wenn noch Symptome nach 30 Minuten vorhanden



Tauchunfall mit schweren Symptomen

Lagerung

- Bei bewusstseinsklarem Taucher: Rückenlagerung

100% Sauerstoffatmung

Bei intakter Eigenatmung über dicht abschließende Maske mit

O_2 -Absorber),

Bei unzureichender Eigenatmung Masken-Beatmung mit 100% O_2 -Zufuhr über:

a) O_2 -Reservoir und O_2 -Konstantdosierung

O_2 Demand-Ventil oder
 O_2 -Absorber

Flüssigkeitsgabe

- Bei bewusstseinsklarem Taucher:

Rettungsleitstelle alarmieren:

Weitere Maßnahmen:

5-Minuten-Neurocheck, Wärmeverlust verhindern, Überwachung und Erhaltung der Vitalfunktionen, ggf. HLW, Dokumentation (Persönliche Daten, Tauchgangsdaten, Symptomsverlauf, Behandlungsmaßnahmen), Gerätesicherstellung (Computer, Tiefenmesser)

Thromboseprophylaxe

Die Gabe von **Aspirin (ASS)** zur Thromboseprophylaxe ist unter Ärzten nach wie vor umstritten. Während in Frankreich die Gabe von ASS und Cortison zu den Standardsofortmaßnahmen bei DCS II gehört, wird sie in der "Leitlinie Tauchunfall" der GETUEM **nicht empfohlen**. Wenn ein Notarzt schnell da ist, sollte diesem in jedem Fall die Entscheidung vorbehalten sein.

Entscheidet man sich zur Durchführung einer Thromboseprophylaxe muß der Verunfallte bei Bewußtsein und seine Schluckfähigkeit erhalten sein. Es werden dann **500 mg Aspirin** [Acetylsalicylsäure (ASS)] gegeben. Das Medikament sollte möglichst gut in Wasser aufgelöst werden, am besten eignen sich Brausetabletten.

Anmerkungen zum Thema "Thromboseprophylaxe mit Aspirin":

("Aspirin inhibiert die Plättchenkoagulation (1 x 500 mg initial) mit einem maximalen Effektiv nach 30 Minuten. Nützlich ist es als Prophylaxe vor Exposition, aber nicht effektiv ist es therapeutisch nach Exposition.")

"Antikoagulantia sind bei der DCS des Innenohres contraindiziert, da bei Innenohr-DCS Blutungen gefunden worden waren. Hirnblutungen sind nach experimentellen Gasembolien beschrieben worden, genauso wie bei der spinalen DCS. Ein Einsatz von Antikoagulantia sollte deswegen unterbleiben."

*Zitate aus: Dr. N. K. I. McIver, North Sea Medical Center, UK,
Übersetzer: V. Warninghoff, in CAISSON Jg.7 /Nr. 3, Sept. 1992)*

Anmerkung zur Lagerung des Verunfallten:

Eine Kopf-Tief und Bein-Hochlagerung (nach Trendelenburg) begünstigt bei längerer Anwendung die Entwicklung eines Hirnödems (durch erhöhten arteriellen und venösen Blutdruck). Diese Lagerung wird deshalb heute nicht mehr empfohlen.

	Behandlung
Juckreiz ("Taucherflöhe")	Evtl. Druckkammerbehandlung zur Vermeidung von Spätschäden! Eigenatmung von 100% Sauerstoff (normobar) ist sehr wirkungsvoll!
Marmorierung der Haut	Druckkammerbehandlung
Lymphknotenschwellungen, evtl. zusätzlich eine ödematöse Schwellung der Haut	
DCS I wie: Bends	
DCS II wie: Chokes, Lungenmanifestation Lähmungserscheinungen des ZNS	SOFORTIGE DRUCKKAMMERBEHANDLUNG (Hyperbare Sauerstofftherapie - HBO)
Chronische Schäden wie: aseptische Knochennekrosen	ggf. orthopädische Maßnahmen (Gelenk-Prothesen), keine Druckkammerbehandlung

Tabelle: Erhöhtes DCS-Risiko aufgrund der augenblicklichen gesundheitlichen Einsatzfähigkeit des Tauchers, seines Tauchverhaltens und der Umfeldbedingungen.

Faktor	Erhöhung des DCS-Risikos durch:	Empfehlung
Dehydratation	Verminderung des Blutvolumens und Erhöhung der Blutviskosität (Fließeigenschaften) durch Flüssigkeitsverlust. N ₂ wird langsamer aus dem Körper abtransportiert.	Vor und nach Tauchgängen auf ausreichende Flüssigkeitsaufnahme achten. s.a. 2.5
Schwere körperliche Belastung vor und nach dem Tauchgang	Vermutete Ursache: Bildung von Blasenkerne durch kleinste Gewebeerletzungen und nachfolgend von Mikrogasblasen wird verstärkt.	Körperliche Belastungen vermeiden oder auf das Notwendige reduzieren.
Kälte	Sauerstoffumsatz, Atmung und Stickstoffaufnahme werden gesteigert. Verengung der Kapillargefäße der Haut und Minderdurchblutung der Muskeln mit der Folge, dass sich Blutvolumen verlagert. Die Löslichkeit von Gasen nimmt mit sinkender Temperatur zu. Es kommt zu einer Stickstoffanreicherung in der Peripherie, da dort die Körpertemperatur niedriger als im Körperkern ist. Im Laufe des Tauchganges verringert sich die Durchblutung, beim Austauchen wird der N ₂ verzögert abgeführt. Folge ist das erhöhte Auftreten von subkutanen Embolien und Bends.	Guter Wärmeschutz gegen Auskühlung. Kurze Tauchgänge.
Fettleibigkeit	Die hohe Fettlöslichkeit des Stickstoffes führt bei Übergewichtigen zur vermehrten Stickstoffaufnahme. Ältere Austausch Tabellen (ZH 1/540) beruhen auf den Erfahrungen mit Marinetauchern in bester körperlicher Verfassung.	Normalgewicht einhalten.
Körperliche Erschöpfung	Schlechte Kondition und/oder geschwächter körperlicher Zustand (z.B. nach Krankheit). Gefäßverengungen bei Stress, erhöhter Sauerstoffbedarf (gesteigerte Atmung und damit höhere Stickstoffaufnahme)	Fitnesstraining
Lebensalter	Im Alter schlechtere Durchblutung, mangelnde Fitness, Veränderungen der Lunge, schwächerer Kreislauf	Fitnesstraining
Alkohol	Alkohol verstärkt die Dehydratation (s.o.)	<u>Kein</u> (oder nur geringer) <u>Alkoholgenuss</u> 24 Stunden vor dem Tauchgang.

Faktor	Erhöhung des DCS-Risikos durch:	Empfehlung
Offenes Foramen ovale	Direkter Übergang von Gasblasen von der venösen Seite des Kreislaufes auf die arterielle Seite unter Umgehung der Lunge.	In Verdachtsfällen ärztliche Untersuchung.
Rauchen (Nikotin)	Der CO-Gehalt reduziert die Sauerstofftransporteigenschaft des Blutes und der Tabakrauch vermindert die Leistungsfähigkeit der Lunge. Damit verlangsamt sich die N ₂ -Entsättigung.	Mindestens 1 Stunde vor einem Tauchgang nicht rauchen.
Alkohol, Drogen, Medikamente	Drogen wie Kokain und Amphetamine (Weckamine) führen direkt zu einer Gefäßverengung. Die psychische Wirkung des Alkohols führt zur Schwächung der Selbstkritik und steigert das Selbstwertgefühl. Gefahrensituationen werden nicht richtig/rechtzeitig erkannt. Falsches Verhalten beim Tauchgang. Medikamente gegen Seekrankheit, Schlafstörungen, Übelkeit und Allergien schränken in der Regel die Reaktionsfähigkeit deutlich ein.	Medikamente nur in Absprache mit dem Taucherarzt verwenden. Alkohol und Drogen vermeiden.
Akklimatisierung	Erhöhte Kreislaufbelastung durch Orts- und Klimawechsel.	Keine Tauchgänge am Anreisetag. Ausreichende Gewöhnung an die veränderte Umgebung und an das dortige Klima.
Sport	Die Erwärmung setzt die Löslichkeit von Gasen herab und fördert das Ausperlen von N ₂ .	Zwei Stunden nach dem Tauchgang auf Sport verzichten.
Sauna, heißes Duschen/baden, starkes Sonnenbaden	Die Hautdurchblutung wird erhöht, die Gaslöslichkeit reduziert und das Ausperlen von N ₂ gefördert.	Zwei Stunden nach dem Tauchgang solche Aktivitäten vermeiden.

Faktor	Erhöhung des DCS-Risikos durch:	Empfehlung
Tauchprofil	<p>Erhöhte Gasblasenbildung durch folgendes Verhalten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Nichteinhalten von Haltezeiten auf Austauschstufen ➤ zu schnelle Aufstiegs geschwindigkeit, Notaufstiege ➤ Häufiges Ändern der Tauchtiefe, Pendeltauchgänge ("JoJo-Tauchgänge") ➤ Häufiges Aufsuchen der Oberfläche ➤ Maximale Tiefe am Ende des Tauchganges ➤ Starke körperliche Beanspruchung bei Tieftauchgängen ➤ Langer Aufenthalt in großer Tiefe ➤ Aufstiegsübungen (Notaufstieg/Aufstieg unter Wechselatmung) am Ende von Tauchgängen 	Gute Tauchgangsplanung und Einhaltung aller Austauschvorschriften.
Wiederholungstauchgänge	Ansammlung von N ₂ in langsamen Geweben bei Wiederholungstauchgängen	Nach drei Tagen einen Tag Pause einlegen. Keine Aufstiegsübungen durchführen.
Bergseetauchen Reisen über Berge	Die Senkung des Umgebungsdruckes erhöht den Druckgradienten zwischen den Geweben und der Umgebung und fördert das Ausperlen von N ₂ .	Ausreichende Wartezeit einhalten. Bergseetabelle (-modus) verwenden.
Fliegen	Die Senkung des Umgebungsdruckes erhöht den Druckgradienten zwischen den Geweben und der Umgebung und fördert das Ausperlen von N ₂ . (Normaler Kabinendruck: 0.73 bar; maximaler Einzelfehler: 0.55 bar)	Empfohlene Wartezeiten vor dem Flug einhalten. s.a. 4.4.1
Körperlage	Eine vertikale Lage erschwert die Abgabe von N ₂ (Druckdifferenzen zwischen den Körperpunkten).	Austauchen in horizontaler Lage bei leichter Bewegung.

Verhalten zur Vermeidung von Dekompressionsunfällen

- Tauchgänge nur innerhalb der Nullzeit durchführen!
(Tabellen und Tauchcomputer nicht ausreizen.)
- JoJo-Profil vermeiden!
Beim erneuten Abtauchen werden eventuell vorhandene Gasblasen (z. B. im Lungenfilter festsitzende) verkleinert und ihnen wird der Weg in den arteriellen Bereich ermöglicht, wo sie dann zu gefährlichen Schädigungen führen können.
- Keine Valsalva-Manöver und keine Pressatmung!

4.3.4. Dekompressionserkrankung (DCI)

Decompression Illness (engl.)

Der Begriff "**Dekompressionserkrankung**" (DCI) faßt die typischen Krankheitssymptome der Dekompressionsphase unter einem Sammelbegriff zusammen. Sowohl die Dekompressionskrankheit (DCS) als auch die Unfälle aufgrund einer Überdehnung der Lunge, insbesondere die arterielle Gasembolie (AGE), sind Dekompressionserkrankungen.

4.3.4.1 Beschreibende Klassifizierung der Dekompressionserkrankung

Die im folgenden dargestellte deskriptive Einteilung der Dekompressionserkrankung ist für medizinisches Personal ein sinnvolles Verfahren, da keine sofortige Unterscheidung zwischen DCS und Überdehnung der Lunge notwendig ist. Der medizinische Laie ist mit der Begriffswelt jedoch normalerweise überfordert. Alleine der Vollständigkeit wegen wird diese Klassifizierung hier dargestellt.

Die beschreibende Klassifizierung der Dekompressionserkrankung ist das Ergebnis des 42. Workshops der UHMS (9. -10.10.1990 am Institute of Naval Medicine in Alverstone, Gosport, UK), veröffentlicht als UHMS Publikation von **T. J. R. Francis und D. J. Smith**. Sie wurde wenig später in die deutsche Sprache übersetzt und erläutert (U. van Laak, 1992).

Die "klassische" Beschreibung von Tauchunfällen (anhand von klinischen Symptomen) versucht das betroffene Organ zu identifizieren. Bei der beschreibenden Klassifizierung werden die **Entwicklung der Erkrankung** (bis zum Beginn der Rekompresionstherapie) und die **betroffenen Organsysteme bzw. Körperteile** benannt.

" Akute '⊕' '★' Dekompressionserkrankung"

wobei

für ⊕ ein die Entwicklung der Symptome beschreibender Begriff

und

für ★ ein oder mehrere die Erscheinungsform(en) bezeichnende Begriffe

eingefügt werden.

Der Begriff "akut" dient hier zur Unterscheidung von Langzeitschäden.

Beispiel:**"Akute progressive muskulo-skeletale und neurologische Dekompressionserkrankung".**

(Akute, sich weiter verschlechternde Dekompressionserkrankung mit Muskel- und Gelenkschmerzen und Ausfällen im Nervensystem.)

Als Vokabular stehen u.a. zur Verfügung:

⊕		★
Entwicklung		Manifestation(en)
<ul style="list-style-type: none"> - progressive - statische - spontan remittierende - als Rückfall auftretende 		<ul style="list-style-type: none"> - muskulo-skeletale - neurologische - pulmonologische - dermatologische - lymphatische - audio-vestibuläre - körperlich bedingte - andere

Medizinische Fachbegriffe:

progressiv	-	sich weiter entwickelnde Symptome (Verschlechterung) (evtl. ergänzt mit "rasch" oder "langsam")
statisch	-	keine signifikanten Änderungen im Verlauf (gleichbleibend)
spontan remittierend als Rückfall auftretend	- -	wesentliche Besserung nach einer vorübergehenden Besserung Rückfälle oder Auftreten neuer Symptome
muskulo-skeletal	-	Muskel- und Gelenkschmerzen
neurologisch	-	Ausfälle im Nervensystem
pulmonologisch	-	die Lunge betreffend
dermatologisch	-	Hautsymptome mit Ausnahme des Barotraumas der Haut
lymphatisch	-	schmerzhafte Schwellungen von Lymphknoten
audio-vestibulär	-	Beeinträchtigung von Hör- und Sehvermögen
körperlich bedingt	-	unspezif. Symptome wie Kopfschmerz, extreme Abgeschlagenheit, 'grippales' Krankheitsgefühl.

Literaturhinweis:

Van Laak, Ulrich, 1992. Deskriptive Klassifizierung von Tauchunfällen. Caisson, 7. Jg., März 1992, Nr. 1: 8-13

4.4. Weitere Auswirkungen

4.4.1. Tauchen und Fliegen

Beim Tauchen auf Meeresniveau wird die N₂-Entsättigung auf einen Umgebungsdruck von etwa 1 bar bezogen. Bei einer weiteren Absenkung des Umgebungsdruckes, z. B. durch Benutzung eines Flugzeuges oder bei der Überquerung eines Gebirges, findet aufgrund der Druckentlastung eine weitere N₂-Entsättigung statt. Der Innendruck in einem Flugzeug liegt aus technischen Gründen (Materialermüdung) bei etwa 0,75 bar (0,70 bis 0,80 bar). Dies entspricht in etwa dem Luftdruck in einer Höhe von 2500 m über dem Meeresniveau. Es müssen daher entsprechende Wartezeiten nach Tauchgängen (Tauchereinsätzen) eingehalten werden, um ein plötzliches Ausperlen von N₂-Blasen zu vermeiden. Werden diese Wartezeiten nicht beachtet, besteht die Gefahr einer Dekompressionskrankheit.

Durch die trockene Luft in Flugzeugen wird die Dehydratation (Austrocknung) des Körpers gesteigert. Um einen Flüssigkeitsmangel vorzubeugen, sollte deshalb reichlich alkohol- und koffeinfreie Flüssigkeit getrunken werden.

Forschungstaucher dürfen nach § 5.16.2 der GUV-R 2112 frühestens 24 Stunden nach dem Austauchen ein Flug antreten. Diese Wartezeit kann aber im Einvernehmen mit einem fachkundigen Arzt verkürzt werden.

Die amerikanische „Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS)“ hat am 12. Januar 1989 hierzu folgende Empfehlung abgegeben:

Wartezeiten:

mindestens 12 Stunden,
wenn in den letzten 48 Stunden weniger als 2 Stunden dekompensationsfrei getaucht wurde,

mindestens 24 Stunden,
wenn über mehrere Tage nicht dekompensationspflichtige Mehrfachtauchgänge durchgeführt wurden und

mindestens 24 Stunden, besser aber 48 Stunden,
grundsätzlich nach allen dekompensationspflichtigen Tauchgängen.

4.5. Diagnose und Differentialdiagnose von Taucherkrankheiten, dargestellt an einigen Beispielen

4.5.1. Neurologische Erstuntersuchung durch den Laien

Die Prüfung ist alle 30 bis 60 Minuten zu wiederholen!

4.5.1.1. Prüfung der psychischen Verfassung

Erkennen von auffälligen Wesens-(Verhaltens-)Änderungen):
(verzögertes Auftreten (z. B. auf dem Nachhauseweg, Passüberquerungen)

- Orientierung
(*"Welcher Tag ist heute?", "Wo bist du?", "Wie heißt du?"*)
- Gedächtnis
(Sofortig: *Zahlenfolge*;
Vor kurzem: *Ereignisse der letzten 24 Std.*; länger zurück liegend: *Hintergrund*)
- Geistesverfassung
(*Test mit "7er"-Reihe: 7 von 100 abziehen, 7 von der Antwort, usw., falls Fehler wiederholt wird, z. B. 93, 90, 83, 80, 73, 70, Zeichen für "Geistesschwäche"*)
- Bewusstseinszustand (-lage)
(auf Schwankungen achten)
- plötzliche Anfälle

4.5.1.2. Diagnostik der Hirnnerven

I	Riechhirn	Testen z. B. mit Kaffee; kann vom Taucherarzt später vorgenommen werden.	
II	Sehnerv	Lesen einäugig, Erken- nen von Bewegungen	<i>Finger zum Zählen zeigen</i>
III,IV,VI	Augenmotorik (Augenbewegung)		<i>Patientenaugen (beidäugig) sollen Finger- bewegungen in allen Richtungen folgen</i>
V	Trigeminus (Sensibilität)		<i>Leichtes Streicheln am Kopf, Zähne zusammenbeißen, Kaumuskulatur beidseitig fühlen</i>
VII	Gesichtsnerv		<i>Kann der Patient lächeln? Schwellmund</i>
VIII	Hörgleichge- wichtsnerv		<i>Ein Ohr zuhalten, dann Zahlen flüstern. Anzeichen von Übelkeit vorhanden?</i>
IX	Schlundnerv		<i>Schlucken lassen</i>
X	Vagus	nicht kontrollierbar	
XI	Schulterhebenerv		<i>Patient soll Schultern zucken, während der Beobachter sie niederdrückt und auf ein- seitige Schwächen achtet</i>
XII	Unterzungennerv		<i>Patient soll Zunge herausstrecken</i>

4.5.1.3. Sensorik (stechend ↔ dumpf)

Man nehme einen stechenden und einen scharfen Gegenstand und prüfe die Unterscheidungs-fähigkeit des Patienten:

- a) Handrückenseite*
- b) Daumenfläche*
- c) Fläche des kleinen Fingers*

4.5.1.4. Motorik

Muskelstärke

- Patient soll mit der Hand jeweils zwei Finger des Beobachters anfassen und ziehen, ist die Kraft in jeder Hand gleich?

Beweglichkeit

Die normale Beweglichkeit von Armen und Beinen prüfen.

Muskelzustand

Entspannt/verkrampft?

4.5.1.5. Koordination

- Kann der Patient den Finger des Beobachters vor seiner Nasenspitze berühren?*
- ... dann Finger zur eigenen Nasenspitze führen und berühren, wiederholen.*
- Balance: gerade stehen, Arme in Vorhalte, Augen zu.*
- Gangart: beobachten.*
- Grundreflexe: mit dumpfem Instrument beidseitig prüfen: Armmuskeln, Knie, Knöchel, Vorderarm.*

4.5.1.6. Reflexe

Mit stumpfem Gegenstand aufwärts der Fußsohle:

- keine Reaktion, keine exakten Schlussfolgerungen möglich*
- Reaktion, gutes Zeichen.*

4.5.1.7. Sprache

Auf Sprachprobleme achten: falsch angeordnete Worte, usw.