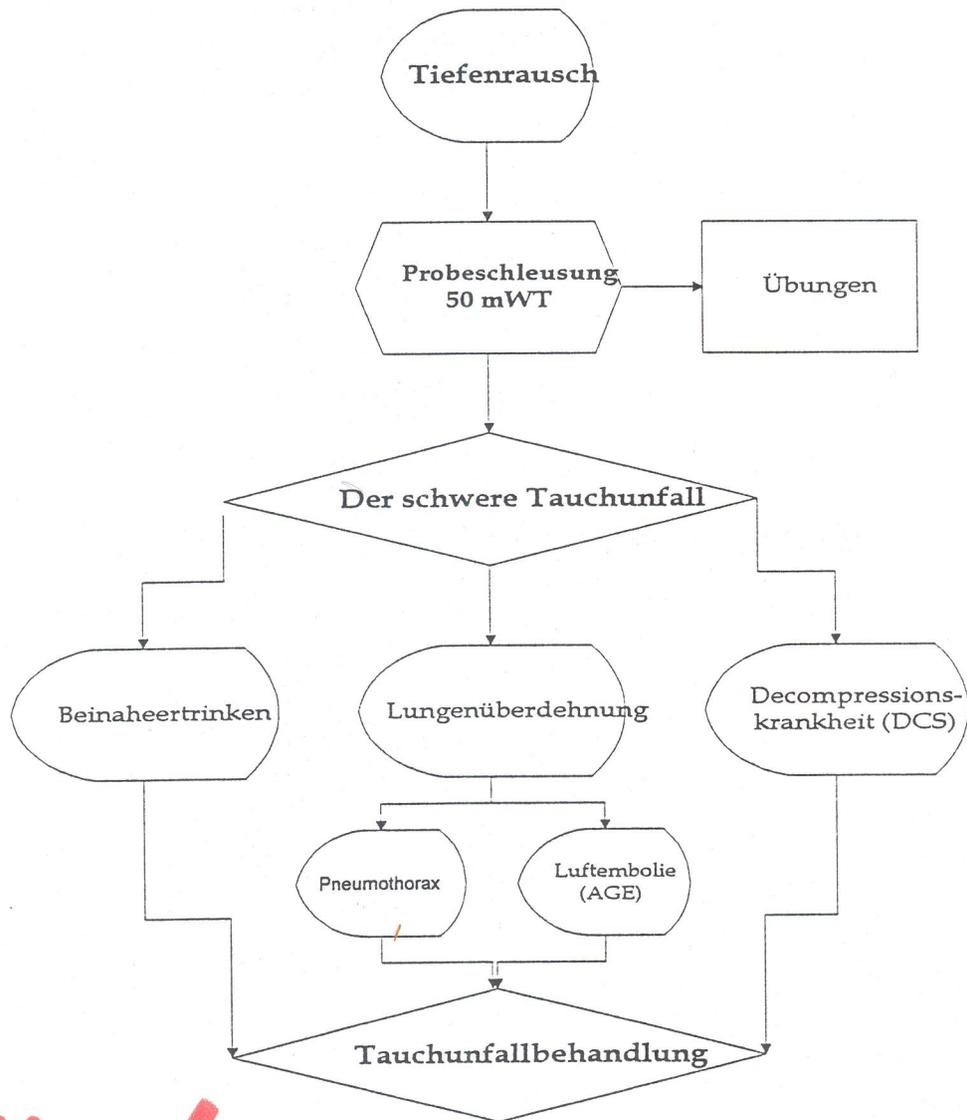


## Tauchmedizin- /Druckkammerseminar



1994  
5

# 1 Tiefenrausch

- Synonyme**
- > Inertgasnarkose
  - > Stickstoffnarkose
  - > rapture of the deep, narcs

**Atiologie** - erhöhter N<sub>2</sub>-Partialdruck führt zu biophysiologicalen und biochemischen Veränderungen des ZNS

**Verschiedene Inertgase**

| Inertgas    | Molekulargewicht | Fettlöslichkeit | Narkotische Potenz |
|-------------|------------------|-----------------|--------------------|
| Helium      | 4                | 0,015           | 0,23               |
| Neon        | 20               | 0,019           | 0,28               |
| Wasserstoff | 2                | 0,040           | 0,55               |
| Stickstoff  | 28               | 0,067           | 1                  |
| Argon       | 40               | 0,140           | 2,33               |
| Krypton     | 83,7             | 0,430           | 7,14               |
| Xenon       | 131,3            | 1,700           | 25,64              |

- Narkotische Potenz verhält sich proportional zur Fettlöslichkeit
- Theorie des kritischen Volumens
  - > Schwellung der lipidhaltigen Zellbestandteile (Membranen!) Druck kann narkotischen Effekt aufheben
- Narkotische Potenz ist proportional zum Molekulargewicht
- Kompetitiver Bindungsmechanismus an den hydrophoben Abschnitten der Enzymmoleküle

**Inertgasnarkose am Beispiel von Stickstoff**

- Hauptbestandteil der Luft (78 %)
- erste Symptome zwischen 20-30 m, alle Taucher mehr oder weniger betroffen ab 40 m
- Martini-Gesetz: Je 15 m Tiefenzuwachs entsprechen der Wirkung eines Martini
- Auftreten bereits kurz nach Erreichenden der Tiefe; nimmt nicht mit der Zeit zu
- Abhängig von Abtauchgeschwindigkeit
- Toleranzentwicklung

**Symptome**

Die Inertgasnarkose ist anfänglich gekennzeichnet durch Störungen der höheren Gehirnfunktionen, später führt sie zu Bewußtlosigkeit und Tod.

|             |  |
|-------------|--|
| 20 - 30 mWT | Milde Euphorie. geringe Beeinflußung der motorischen Funktionen  |
| 20 - 50 mWT | Starke Euphorie, aber auch Angstgefühle, Verlust der Selbstkontrolle, Ideenfixation, verzögerte Reizantwort, Gedächtnisstörungen, Kalkulationsfehler |
| 50 - 70 mWT | Schläfrigkeit, unkontrolliertes Gelächter, Hysterie, gestörtes Beurteilungsvermögen, Gesichtsfeldverengung   |
| 70 - 90 mWT | Schwere Beeinträchtigung der geistigen Leistungsfähigkeit, stark verzögerte Reaktionen, Konfusion, motorische Störungen                              |
| > 90 mWT    | Halluzinationen, Bewußtlosigkeit, Tod (> 130 m)  |

**Verstärkungsfaktoren**

- Alkohol
- Erschöpfung (schwere Arbeit)
- Kälte
- erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration - erniedrigte O<sub>2</sub>-Konzentration
- Ängstlichkeit
- Cave: zentral wirkende Medikamente wie Sedativa

## Prävention

- Keine Druckluft in Tiefen > 50 m
- geeignete Atemgasgemische wählen, z.B. **HELIOX, TRI-MIX**
- Sättigungstauchen bei Exkursionen zu größeren Tiefen
- auf individuellen Zustand, Gasdichte, CO<sub>2</sub>-Gehalt achten

## Therapie

- geringere Tiefen aufsuchen; Achtung: DCS-Auftreten bei Tieftauchen

## 2 Probeschleusung auf 5 bar Überdruck

Die Probeschleusung auf 5 bar Überdruck wird aus folgenden Gründen durchgeführt:

- Erkennen der Auswirkungen des Tiefenrausches
  - durch Durchführen einer Rechenaufgabe
  - durch Beobachtung der Teilnehmer
  - durch Eigenbeobachtung (gelöste Grundstimmung, etc.)
- Individuelle Toleranz auf 5 bar Überdruck
- Erkennen der physikalischen Veränderungen bei einem Überdruck von 5 bar
  - Druckdifferenz
    - Druckausgleich in Luft wesentlich häufiger notwendig
    - Beobachtung des Balles
      - vollständige Füllung erst in den letzten Metern
  - Temperaturwechsel durch Kompression / Dekompression
    - extreme Temperaturzunahme in der Kompressionsphase
    - Temperaturabfall mit Nebelbildung in der Dekompressionsphase
  - Höhere Dichte der Luft
    - Atmung erschwert
    - Veränderung der menschlichen Sprache unter Überdruck
    - Mit Hand fächern - Luft wird spürbar
    - Blatt Papier fliegt länger
- Test von Geräten im Wasserbad

### 2.1 Ablauf der Probeschleusung

An erster Stelle steht bei dieser Aktion die Sicherheit für alle Teilnehmer. Daher führen wir die Dekompression eine Zeile tiefer (Dräger Tabelle) durch und nutzen zusätzlich ab ca. 18 m reinen Sauerstoff bis zum Verlassen der 3 m Stufe.

Außerdem stellen wir an die Teilnehmer gewisse Anforderungen, insbesondere muß eine ärztliche Tauchtauglichkeitsuntersuchung vorhanden sein.

- Drucksteigerung in ca. 5 Minuten auf 5 bar Überdruck
- 5 Minuten Verweildauer auf 5 bar Überdruck
- 5 Minuten Druckwechsel auf 0,6 bar Überdruck
- ab 1,8 bar Überdruck Beginn der Sauerstoffatmung
- 5 Minuten Dekompressionsstop auf 0,6 bar Überdruck
- 3 Minuten Druckwechsel auf 0,3 bar Überdruck
- 10 Minuten Dekompressionsstop auf 0,3 bar Überdruck
- 3 Minuten Druckwechsel auf Normobar

**Gesamttauchzeit - 36 Minuten**

## 2.2 Gefahren

Eine Drucksteigerung auf 5 bar Überdruck birgt, wie jeder Tauchgang, gewisse Risiken:

### Barotraumen der luftgefüllten Körperhöhlen

Bei der raschen Drucksteigerung und Druckentlastung kann es durch Druckdifferenzen zu Schädigungen in den luftgefüllten Körperhöhlen kommen. Bei Beschwerden (starkes Druckgefühl, Schmerzen) ist daher sofort und laut "STOP" zu sagen. In der Dekompressionsphase darf auf keinen Fall die Luft angehalten werden, da es ansonsten zu einem Überdruckbarotrauma der Lunge kommen kann. Dies wäre die größte Gefahr bei dieser Druckexposition.

### Dekompressionskrankheit

Jeder Tauchgang auf einen Überdruck von 5 bar ist grundsätzlich dekompensationspflichtig. Insbesondere wenn sich der Taucher nicht wohl fühlt, oder zum Beispiel nach starkem Alkoholgenuß, oder ähnlichen Faktoren, steigt die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung trotz korrekt durchgeführter Dekompression.

## 2.3 Voraussetzungen zur Teilnahme

- In den letzten 24 Stunden kein Tauchgang
- Besitz eines gültigen Tauchscheines
- Tauchpraxis von mindestens 50 Tauchgängen
- Besitz einer gültigen ärztlichen Tauchtauglichkeitsuntersuchung
- keine Erkrankung
- eventuell bestehende Erkrankungen müssen vor der Probeschleusung mit einem Taucherarzt besprochen werden
- körperlich und geistig den Anforderungen gewachsen
- kein Alkohol- oder Medikamenteneinfluß
- noch niemals ein Tauchunfall erlitten

### Tauchinstrumente

Tauchinstrumente wie

- Tauchcomputer
- Tiefenmesser
- Taucheruhren

können sehr gut während der Probeschleusung getestet werden und dürfen auch mitgenommen werden.

**Achtung: Unter Überdruck dürfen Instrumente und andere luftgefüllte starre Gegenstände nicht aus dem Wasserbad entnommen werden!**

Viele Geräte sind zwar wasserdicht, aber nicht luftdicht. Die wesentlich kleineren Luftmoleküle können durch die Dichtungen diffundieren.

**Bei der Dekompression können diese Geräte dann explodieren!**

## 3 Der schwere Tauchunfall

### 3.1 Beinaheertrinken

#### Definition des Beinaheertrinkens

Ablauf des Ertrinkungsvorganges ohne Todesfolge (mit erfolgreicher Wiederbelebung)

#### Ertrinken im Salzwasser (hyperton)

- hohe Salzkonzentration
- Flüssigkeitseinstrom in die Lunge
- Gefahr eines Lungenödems

#### Ertrinken im Süßwasser (hypoton)

- schnelle Resorption
- blutverdünnender Effekt
- Gefahr der Hämolyse

In der Regel dringt nur wenig Wasser in die Lunge ein, die Unterscheidung in Süß- und Salzwasserertrinken ist dadurch nicht von sehr großer Bedeutung!

#### Ursachen

- Bewußtlosigkeit im Wasser
- Blackout
- Hyperventilation
- Flachwasserohnmacht
- Geräteversager
- Luftembolie
- Dekompressionskrankheit
- Individuelle Krankheiten
- Gasintoxikationen CO, CO<sub>2</sub>
- Unterkühlung
- Verletzung
- Verfangen in Hindernissen

#### Ertrinkungsvorgang

- Steigender Sauerstoffmangel
- Atemanhaltereflex
- Für gewisse Zeit besteht ein Aspirationsschutz durch reflektorisches Anhalten des Atems und Verschuß der Stimmbänder.
- Verschlucken von Flüssigkeit
- Bei steigender Sauerstoffschuld setzt der Atemreiz ein, Flüssigkeit wird aspiriert.
- Schwere Sauerstoffschuld
- Aufbrauchen der Sauerstoffreserven, Anhäufung von Stoffwechselprodukten
- Kreislaufzusammenbruch
- Herzstillstand, Tod

**Maßnahmen**

- Bergen
  - Keine Manipulationen zum Austreiben von verschlucktem Wasser!!
    - Austreibung gelingt nur unvollkommen
    - Verschluckte Menge in der Regel vernachlässigbar
    - Gefahr des Verschluckens von mitausgetriebenem Mageninhalt kann zu großen Komplikationen führen !!!
  - Sofortige Überprüfung der Atem- und Kreislauffähigkeit
    - Falls erforderlich und in Zweifelsfällen umgehend Wiederbelebung starten
    - Die meist gleichzeitige Unterkühlung schützt lebenswichtige Organe, deshalb nicht vorzeitig aufgeben !
- Unbedingt für Transport ins Krankenhaus sorgen!!

**Auch bei erfolgreicher und schneller Wiederbelebung kann es mit Verzögerung zur Entwicklung schwerster Atemstörungen kommen.**

**Gefahr der Lungenentzündung!**

**3.2 Überdehnung der Lunge****Beim Tauchen Gefahr der Lungenüberdehnung durch**

- Notaufstieg
- Ubootrettungsaufstieg
- Pressatmung
- Wechselatmung
- Wechselatmung mit Aufstieg
- Gerätean- und abgelegübungen

Pulmonales Barotrauma überwiegend in Aufstiegsphasen (Gasausdehnung!).

**Erforderliche Druckdifferenz**

- ca. 0,07 - 0,1 bar (ca. 1 m Wassertiefe genügt!)

**Merke : Luftausdehnung auf den letzten 10 m am stärksten !**

**Ursachen einer Lungenüberdehnung**

- Gasausdehnung > Ausatmung
- Luftwege blockiert durch Verschlucktes oder Stimmritzenkrampf
- plötzliche, starke Druckdifferenzen (Explosion, Druckabfall)
- Anhalten des Atems
- krankheitsbedingte Einengungen der Luftwege:
  - Asthma untersch. Genese
  - Bronchitis
  - obstruktive Lungenerkrankungen
  - pleurale Verwachsungen
  - Infektionen
  - narbige Veränderungen
  - Cysten, Tumoren

**Vorsicht: Tauglichkeit!**

**Air-Trapping** = Intrapulmonale Abkapselung eines Luftraumes durch z.B. Schleimpfropf.

## Lungenüberdehnung

- Einriß von Lungengewebe in Gefäßnähe  
-> Arterielle Gasembolie (AGE)
- Einriß der Pleura visceralis  
-> Pneumothorax
- Eintritt von Gas in den interstitiellen Raum  
-> Mediastinalemphysem (Luftansammlung im Mittelraum des Brustkorbes)  
-> subcutanes Emphysem (Luftansammlung unter der Haut)
- Asymptomatische Überdehnung des Lungengewebes

### 3.2.1 Pneumothorax

#### Symptome

- Asymmetrische Atmung
- Atemschwierigkeiten
- Engegefühl
- Aufgehobenes - abgeschwächtes Atemgeräusch
- Kreislaufsymptomatik
- scharfer, stechender Schmerz beim Unfallereignis
- Gasnachweis im Röntgenbild

**Vorsicht: Spannungspneumothorax oder Entwicklung eines Spannungspneumothorax in der Auftauchphase nach der Druckkammerbehandlung einer Luftembolie**

#### Symptome des Mediastinalemphysems

- häufig geringe Symptomatik
- Atemschwierigkeiten
- Engegefühl
- Veränderungen der Stimmlage
- Herz-Kreislaufsymptome
- scharfer, stechender Schmerz beim Unfallereignis
- zusätzlich oder alleine:
  - Emphysem unter der Haut
  - Hautknistern beim Tasten
  - Halsschwellung
- Gasnachweis im Röntgenbild

### 3.2.2 Gasembolie

#### Symptome

Durch die Strömungsverhältnisse im Aortenbogen und die meist aufrechte Körperhaltung während des Aufstiegs gelangen Gasbläschen über die Blutgefäße bevorzugt in den Kopfbereich.

-> Halsschlagadern!

Blockierung Blutgefäße im Hirnkreislauf - Ausfall von entsprechenden Versorgungsgebieten (Gefäßdurchmesser ca. 30 µm - 2 mm).

#### Symptomvielfalt

- Seh- und Hörstörungen
- Schwindel
- Erbrechen
- Bewußtseinstörung, -losigkeit
- Gefühlsstörungen
- Lähmungen / Krämpfe
- Sprachstörungen
- Rechen-, Lese-, Schreibstörungen

zusätzlich:

- herzfarktähnliche Symptomatik!
- Embolie anderer Organe!

Symptome zu 80 % innerhalb von 5 Minuten nach einem Aufstieg

### 3.3 Dekompression / Dekompressionskrankheit

#### Blaseneffekte

- Sowohl in der Zelle, zwischen den Zellen, als auch in den Gefäßen
- Wechselwirkungen zwischen Blase und Flüssigkeit
  - Eiweißdenaturierung
  - Freisetzen von freien Fettsäuren
  - Aktivierung von Gerinnungsfaktoren
  - Blutplättchenkoagulation
  - Gewebsschwellung (Ödembildung)
  - Erhöhung der Blutviskosität
- Blasenorganisation und mechanische Obstruktion

#### Fakten

- Jeder Taucher besitzt nach dem Tauchgang "stumme Blasen"
- ca. 6 - 10 % des aufgenommenen Inertgases wird in Form von Blasen eliminiert
- kurze und tiefe Tauchgänge führen eher zur Entwicklung einer DCS mit neurologischer Symptomatik
  - schnelle Gewebe führen
- es gibt keine absolut sichere Tauchtabelle

#### Reduzierung der Blasenbildung

- Aufstiegsgeschwindigkeit nicht > 10 m/min
  - weniger Blasenbildung
  - geringere Verengung des Lungenfilters
  - geringere Gefahr für pulmonales Barotrauma
- prinzipiell Sicherheitsstop für 5 min in ca. 5 mWT (3-9m)
  - verlängert Dekompressionszeit
  - reduziert Bolusvolumen des Lungenfilters
  - reduziert Stickstoffgradienten zwischen den Geweben
- größte Tauchtiefe zu Beginn des Tauchganges
- kein zwischenzeitliches Auf- und Wiederabtauchen während eines Tauchganges
  - Blasen im Lungenfilter gelangen durch Kompression in arterielles System
  - Blasenwachstum und DCS beim 2. Auftauchen
- bei Wiederholungstauchgängen größte Tauchtiefe zuerst
- Wiederholungstauchgänge < 24 mWT, besser 20 mWT
- maximale Tauchtiefe 40 mWT, besser 30 mWT
  - "stumme" ZNS-Blasen

#### Risikofaktoren der DCS

- Belastung
  - vor dem Tauchen
  - während des Tauchganges
  - nach dem Tauchen
- Körperfettanteil
  - Stickstofflöslichkeit Muskulatur-Fettgewebe 1:5
- Temperatur
- mangelnde körperliche Fitness
- Herz-Kreislauf-Erkrankungen
- Dehydration
- Alkohol- / Drogengenuß vor dem Tauchen
- erhöhter inspiratorische CO<sub>2</sub>-Anteil
- Jojo-Tauchgänge
- Non-Limit-Tauchen

- Notaufstiege
- Mißachtung der Aufstiegs geschwindigkeit
- Nichteinhaltung von Dekompressionzeiten
- Mißachtung der Tauchregeln
- Höhenexposition

### Einteilung der DCS

|         |   |   |
|---------|---|---|
| DCS I   | - | milde Form                                    |
| DCS II  | - | schwere Form                                  |
| DCS III | - | Kombination aus Luftembolie und DCS-Geschehen |

### Einsetzen der DCS

- Unter Druck beginnend bis zu 48 (72) Stunden nach dem Tauchgang
- 90 % innerhalb von 6 Stunden nach dem Tauchgang
- 50 % innerhalb der 1. Stunde nach dem Tauchgang
- 85 % der neurologischen Symptome innerhalb der 1. Stunde nach dem Tauchgang
- je schneller der Beginn, desto ernster sind in der Regel die Symptome

**Achtung - Progression!**

### DCS I (Muskel-Skelett-System)

- Symptome erst nach dem Auftauchen!
- Gelenkschmerzen (Bends)
  - Schmerzen der Gelenke, Muskel- und Sehnenansätze
  - ein oder mehrere Gelenke können betroffen sein
  - hauptsächlich große Gelenke betroffen. prinzipiell aber jedes Gelenk möglich
- Juckreiz (Taucherflöhe)
- Hautrötungen
- Lokale Schwellungen (Lymphknoten)

### Charakteristik der Gelenkbeschwerden

- Zunächst anormales Gefühl
- dumpfer, tiefer Schmerz
- Bewegungseinschränkung
- Schonhaltung des betroffenen Gelenkes
  - Bends
- Schmerzausstrahlung
  - Neurologie?!
- Besserung / Erleichterung durch äußeren Druck

### DCS II (schwere Form)

- Symptome der DCS I noch unter Druck einsetzend!
- Zentrales Nervensystem (Gehirn, Rückenmark)
  - Gefühlsstörungen, Taubheitsgefühle, Kribbeln
  - Muskelschwäche, Bewegungsstörungen, Lähmungen
  - Seh-, Sprach-, Rechen-, Lese- und Schreibstörungen
  - Blasen-, Darm- und Sexualfunktion
  - Mattigkeit, Bewußtseinsstörungen, Bewußtlosigkeit
- Innenohr
  - Hör- und Gleichgewichtsstörungen, Schwindel
- Lunge
  - Atemnot, Hustenreiz, Schmerzen (Chokes)

- Herz
  - herzinfarktähnliche Symptome
- Haut
  - marmorierte Haut

**Jedes Organ kann betroffen sein!**

### DCS III

- Überdehnung der Lunge
- Luftembolie
- Zusätzliche Inertgasübersättigung durch Tauchgang
- Diffusion von Inertgas in die Embolieblasen
- Vergrößerung der Blasen
- Verschlimmerung der Symptomatik

**Ernstes Krankheitsbild!**

### Probleme von Blasen in Gefäßen

- Blockade des Blutstromes
  - Abschneiden von der Versorgung
  - Sauerstoffmangel im Gewebe
  - Ödematöse Reaktion des Gewebes
- Aktivierung der Gerinnung
  - Blasenorganisation in 2 - 4 Stunden
  - Eiweißhülle um die Blase
  - Blutplättchenanlagerung
- Schäden an der zellulären Gefäßwandauskleidung
  - Leckagen (Ödemverstärkung)
  - Störung der Blut-Hirn-Schranke

### 3.4 Sauerstoffvergiftung

#### Ätiologie

Oxidation sulfhydrylgruppenträger Enzyme, Bildung von Peroxiden und freien Sauerstoffradikalen, Veränderung intrazellulärer Energie und Substratstoffwechsel.

#### Akute Sauerstoffvergiftung

- Tritt vor allem bei der HBO-Therapie auf
- Akute Sauerstofftoxizität (Paul-Bert Effekt 1878)
- Zielorgan ZNS
- Übelkeit
- Erbrechen
- Schwindel
- Tinnitus
- Einengung des Gesichtsfeldes
- Kollapssymptome
- Gesichtsblassheit
- Schwitzen
- Muskelzuckungen (perioral. Hand)
- Parästhesien
- Illusionen

#### Ohne Vorwarnung!

- generalisierter Krampfanfall

#### Abhängigkeit der akuten O<sub>2</sub>-Intoxikation

- Höhe des Sauerstoffpartialdruckes (pO<sub>2</sub>)
- Expositionszeit (bereits nach einigen Minuten, nach 2-3 Stunden schwerste Intoxikationserscheinungen)
- **Körperlicher Aktivitätszustand**
  - ⇒ Ruhegrenzwertca. 3 bar pO<sub>2</sub>
  - ⇒ Belastungsgrenzwertca. 1,7 bar pO<sub>2</sub>
- Individuelle Einflußfaktoren
  - ⇒ *Allgemeinzustand*
  - ⇒ *erhöhte inspiratorische CO<sub>2</sub>-Spiegel*
  - ⇒ *Medikamente / Drogen (Cortison, Coffein, Nikotin)*
  - ⇒ *Immersion im Wasser*

#### Maßnahmen bei akuter Sauerstoffintoxikation

- ⇒ Sauerstoffatmung aussetzen
- ⇒ ca. 10-15 min nach Sistieren der Symptome mit der Sauerstoffatmung fortfahren
- ⇒ Solange Krampfanfall anhält auf keinen Fall auftauchen!
  - ⇒ *Krampfanfall sistiert in der Regel nach Absetzen der O<sub>2</sub>-Atmung*
  - ⇒ *Beißkeil*
  - ⇒ *Valium i.v.*
  - ⇒ *Indikation zur Therapiefortsetzung sehr streng stellen*
  - ⇒ *Patienten genau beobachten, ggf. prophylaktische Gabe von Valium*

---

**„Chronische“ Sauerstoffvergiftung****Zielorgan Lunge**

- Hustenreiz
- Dyspnoe
- Retrosternale Schmerzen
- Einschränkungen Vitalkapazität

**Abhängigkeit der „chronischen“ O<sub>2</sub>-Intoxikation**

- Bereits bei Partialdruck > 0,5 bar
- Mehrere Stunden bis Tage

**Vermeidung**

- intermittierende Applikation
- Beschränkung auf 2,5 bar pO<sub>2</sub>
- Expositionszeit < 120 Minuten falls keine vitale Indikation
- Sedativa, Anästetika, Ganglienblocker und Vitamin E sollen Schutzfunktion haben

### 3.5 Kohlendioxidvergiftung

#### Allgemeines

- Farb-, geruch- und geschmackloses Gas
- Physiologisches Stoffwechselabfallprodukt
- Ca. 200 ml/min in Ruhe bis zu 3000 ml/min bei Belastung
- CO<sub>2</sub>-Konzentrationen
- Luft 0,03 Vol%
- Ausatemluft ca. 5 Vol%; nimmt in größerer Tiefe ab
- Arteriell Blut p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub> 40 mmHg, venös p<sub>v</sub>CO<sub>2</sub> 45 mmHg
- Anstieg des CO<sub>2</sub>-Spiegels bildet **Hauptatemreiz**

#### Möglichkeiten erhöhter CO<sub>2</sub>-Spiegel

Versagen der CO<sub>2</sub>-Bindung bei

- ⇒ *Kreislaufgeräten*
- ⇒ *Sättigungstauchen*
- ⇒ *U-Booten*
- ⇒ *UW-Habitate*

Unzulängliche Belüftung des Tauchers

- ⇒ *Helmtauchgeräte*
- ⇒ *Atemgasdichte*
- ⇒ *Druckkammern*

Verunreinigungen des Atemgases

- ⇒ *Kompressor*
- ⇒ *Totraumvergrößerung*
- ⇒ *Große Vollgesichtsmasken*
- ⇒ *Lange, dicke Schnorchel*
- ⇒ *Inadequate pulmonale Belüftung bei Tieftauchern durch erhöhte Gasdichte*

Akute CO<sub>2</sub>-Intoxikation

| Fehler! Textmarke nicht definiert. Konzentration bar in Vol% | Symptome   |
|--|--|
| > 3  | keine wesentlichen Symptome  |
| 3  | Verdoppelung des Respirationsvolumens<br>Beeinflussung der Konzentrationsfähigkeit, Kopfschmerz            |
| 5-6  | Atemnot, Wärmegefühl, Schweiß, Anstieg von Puls und Blutdruck leichte Verwirrungen, Koordinationsstörungen |
| 10   | Abfall von Puls und Blutdruck, schwere Luftnot<br>Bewußtlosigkeit, Herz-Kreislauf-Zusammenbruch            |
| 12-14  | Nur kurze Überlebenszeit ( $p_a\text{CO}_2 > 150 \text{ mmHG}$ )<br>zentrale Atem und Kreislaufdepression  |
| 20-40  | Rascher Tod durch Stammhirnkrämpfe und Streckspasmen   |

## Besonderheiten beim Tauchen

- ⇒ Partialdrucksteigerung
  - ⇒ bei primär verunreinigter Atemluft kommt es bei Drucksteigerungen zur Verstärkung der Symptome entsprechend dem Partialdruckanstieg
- ⇒ Symptome der CO<sub>2</sub>-Intoxikation können durch das Medium Wasser überlagert werden
  - ⇒ Wärmeempfinden
  - ⇒ Mißdeutung der Hyperventilation
- ⇒ Blackout möglich
  - ⇒ verantwortungsbewußtes Partnerverhalten
- ⇒ Verstärkung N<sub>2</sub>-Narkose, Auftreten DCS

## Prävention und Behandlung

- Adäquate Belüftung
- Regelmäßige Überprüfung CO<sub>2</sub> Absorber
- Entfernung aus CO<sub>2</sub> Milieu - normale Atmosphärenluft genügt

## Essoufflement

- ⇒ Ungenügende Ventilation der Alveolen
  - ⇒ oberflächliches Atmen
  - ⇒ enger Anzug, Weste, Gurt
  - ⇒ Aufgeregtheit
  - ⇒ Unerfahrenheit
- ⇒ Anstieg des CO<sub>2</sub>-Spiegels in den Alveolen
  - ⇒ Atemfrequenzsteigerung
  - ⇒ weiterhin kleinstes Atemzugvolumen (s.o.)
  - ⇒ Unruhe wächst
- ⇒ Ermüdung der Atemmuskulatur
  - ⇒ schlechte Ventilation
  - ⇒ weiterer CO<sub>2</sub>-Anstieg
  - ⇒ O<sub>2</sub>-Mangel

### 3.5.1 Kohlenmonoxidvergiftung

Farbloses, geruchloses Gas

#### Ursachen

- Leuchtgas (enthält ca. 8% CO)
- Suicidversuch mit Autoabgasen  
⇒ Häufig kombiniert mit Alkohol, Beruhigungsmittel, Schlafmittel
- Laufende Motoren in geschlossenen Garagen
- Brände/Großbrände/Explosionen  
⇒ Beteiligung anderer Gase möglich
- Kamine, Öfen und Flüssiggas  
⇒ in Räumen mit sehr dicht schließenden Fenstern/Türen (Energieeinsparung)

#### Wirkmechanismus

- gefährlich bereits ab CO Konzentration > 0,02 %
- CO-Affinität zum Hämoglobin (= Hb = roter Blutfarbstoff in den Blutkörperchen):  
250 x größer als O<sub>2</sub>
- Ein Gehalt von nur 0,1% CO in der Atemluft überführt mehr als 50% des Hämoglobins in CO-Hb  
⇒ Sauerstofftransport schwer gestört, zelluläre Hypoxie
- Ausschwemmung / Abatmung des CO nur über die Lungen
- Halbwertszeit: ca. 4 Std. bei Raumluft

#### Vergiftungssymptome

Initialstadium (CO-Hgb < 50 %)

(%-Angaben bezogen auf den Anteil von CO-Hb)

| Volumenanteil | Symptome  |
|---------------|---|
| 10 %          | keine Symptome, Raucher   |
| 10-20 %       | Kopfdruck, Übelkeit geringe Dyspnoe   |
| 20-30 %       | stärkere Stirnkopfschmerzen Atemnot, Pulsfrequenzbeschleunigung<br>allg. Muskelschwäche, "bleierne Füße", psychische Symptome (Alkoholrausch) |
| 40 %          | hämmernde Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Erbrechen,<br>starke Muskelschwäche, Gangunsicherheit   |
| 40-50 %       | Halluzinationen, auch stärkere Bewußtseinstörungen<br>Hyperventilation, niedriger Blutdruck   |

Lähmungsstadium (CO-Hgb > 50 %)

|             |  |
|-------------|--|
| ab 60 %     | tiefes Koma mit frequenter, unregelmäßiger Atmung (zentrale Atemlähmung),<br>Muskelzuckungen, zentralnervöse Krämpfe |
| größer 70 % | ausnahmslos Atemlähmung und Herzversagen -> Tod  |

#### Komplikationen

- Kombinierte Vergiftungen durch Motorabgase und Brandgase
- Stickstoffoxidationsprodukte, Aldehyde, Pyridin, Phenole

**Vorsicht: Entwicklung eines Lungenödems!**

- Komplikationen und Spätschäden betreffen im wesentlichen das Zentralnervensystem und den Herzmuskel.

**Diagnostik**

- Anamnese:-> entsprechende Exposition
- hellrote Gesichtsfarbe-> Verdacht, mehr nicht - meist blaßfahles Aussehen!
- CO-Hgb Bestimmung im venösen Blut
- Veränderungen im EKG
- CO-Prüfröhrchen

**Behandlung**

- Beseitigung Acidose
- Entfernung aus vergifteter Atmosphäre
- Beatmung mit 100% Sauerstoff
- Ggf. Vorbeugung von Hirn und Lungenödem
- Hyperbare Sauerstofftherapie zur Hypoxiebehandlung
- Evtl. Sedativa und/oder Hypnotika

**CO-Hgb Eliminationshalbwertszeit**

- |  |         |
|--|---------|
| <input type="checkbox"/> 1 bar Luft ca. 250 Min. |         |
| ⇒ 1 bar 100% O <sub>2</sub>                      | 60 Min. |
| ⇒ 2 bar 100% O <sub>2</sub>                      | 40 Min. |
| ⇒ 3 bar 100% O <sub>2</sub>                      | 23 Min. |

**Indikation zur HBO**

- |                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> CO-Hgb > 40% | zwingende Indikation               |
| <input type="checkbox"/> CO-Hgb 25%   | HBO sinnvoll (wenn DK in der Nähe) |

**HBO-Schema 90 Min. O<sub>2</sub> bei 3 bar - Kontrolle CO-Hgb im Blut!**  
eventl. wiederholt

Eine HBO-Therapie ist auch dann sinnvoll, wenn die CO-Hb-Werte kleiner als 25% sind, aber die initialen Werte aufgrund der Rückrechnung anhand der CO-Hb-Halbwertszeiten und der initialen Symptomatik über 35-40 % lagen. Der Sinn der HBO-Anschlußbehandlung liegt bei diesen Fällen im Abfangen von neurologischen Spätsymptomen, welche sich trotz anfänglichen Wohlbefindens des Patienten noch verspätet einstellen können.

**Wirkung der HBO**

- Verbesserte O<sub>2</sub> Versorgung über plasmatisch transportierten O<sub>2</sub>
- Kompetitive Verdrängung des CO
- O<sub>2</sub> bedingte Vasokonstriktion beugt Hirnödem und Spätfolgen vor

## 4 Erste Hilfe beim Tauchunfall

- Taucher bergen
  - keine Rekompansionsversuche im Wasser! !
  - Von Tauchgerät befreien, beengenden Anzug entfernen
- Überprüfung von Atmung und Puls
  - gegebenenfalls lebensrettende Sofortmaßnahmen ergreifen!
- Lagerung
  - Bei Bewußtlosigkeit und stabilen Atmungs- und Kreislaufverhältnissen
    - > horizontale, stabile Seitenlagerung
  - bei klarern Bewußtsein -> flache Rückenlagerung
  - Keine Kopftiefenlagerung!!
- Schnellstmöglich (wie verfügbar):
  - **100 % Sauerstoffatmung** über Maske oder Tubus (Nasensonde nicht ausreichend!)
  - Fortsetzung der Sauerstoffatmung bis zum Eintreffen an der Druckkammer (evtl. mehrere Stunden!)
  - Sauerstoffatmungsmöglichkeit besteht in jedem Krankenwagen!
- Flüssigkeitszufuhr
  - oral
    - nur bei bewußtseinsklaren Patienten!
    - muß selbstständig trinken können, da sonst Gefahr des Verschluckens!
    - alkoholfreie, kohlenstoffarme Getränke
    - in der 1. Stunde nach Unfall ca. 1 l Flüssigkeit
  - intravenös, falls Arzt zur Verfügung
    - 500 ml HAES initial
    - 1000 ml Ringer in der ersten Stunde
    - 2 ml / kg KG / Std.
- Medikamente
  - oral
    - nur bei bewußtseinsklaren Patienten!
    - *Acetylsalicylsäure* ( - Aspirin, ASS-Ratiopharm, etc. )
    - *Dosierung 2 Tabletten*(= 2 x 500 mg = 1 g)
    - **Keine anderen Schmerzmittel, da sonst Verdeckung von Symptomen!**
  - intravenös, falls Arzt zur Verfügung
    - Dexamethason 100 mg
    - *Acetylsalicylsäure 1000 mg*
- Wärmeverlust (Unterkühlung) vermeiden
  - Ausziehen nasser Kleidung
  - Isolation
  - trockene Kleidung
  - Decken
- Benachrichtigung/Organisation ärztlicher Hilfe
  - Hinweis auf Tauchunfall (genauer Verlauf des Tauchganges!)
  - Hinweis auf möglicherweise notwendige Druckkammerbehandlung!
  - nächstgelegene Druckkammer nennen!
    - sollte vor dem Tauchgang bekannt sein
  - Hotline von DAN angeben!
    - auch für ärztliche Fragen 0431 / 5409-0
- Für Flugtransporte
  - max. Flughöhe 300 m
  - Flug mit 1-bar-Kabinendruck (Lear-Jet)
    - gute Hilfe über Deutsche Rettungsflugwacht und SAR-Hubschrauber der Bundeswehr



## Einverständniserklärung

Ich erkläre hiermit, daß ich auf eigene Gefahr an einer Probeschleusung in einer Druckkammer auf einen Überdruck von 5 bar (= 50 mWT) teilnehmen werde. Ich werde an das Institut für Hyperbar- und Tauchmedizin keinerlei Forderungen stellen.

Eine Drucksteigerung auf 5 bar Überdruck birgt gewisse Risiken, über die ich vor der Fahrt informiert wurde.

**Ich wurde insbesondere über folgende Gefahren aufgeklärt:**

### 1. Barotraumen der luftgefüllten Körperhöhlen

Bei der raschen Drucksteigerung und Druckentlastung kann es durch Druckdifferenzen zu Schädigungen in den luftgefüllten Körperhöhlen kommen. Bei Beschwerden (starkes Druckgefühl, Schmerzen) ist daher sofort und laut "STOP" zu sagen. In der Dekompressionsphase darf auf keinen Fall die Luft angehalten werden, da es ansonsten zu einem Überdruckbarotrauma der Lunge kommen kann. Dies wäre die größte Gefahr bei dieser Druckexposition.

### 2. Dekompressionskrankheit

Jeder Tauchgang auf einen Überdruck von 5 bar ist grundsätzlich dekompensationspflichtig. Insbesondere wenn sich der Taucher nicht wohl fühlt, oder zum Beispiel nach starkem Alkoholgenuß, oder ähnlichen Faktoren, steigt die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung trotz korrekt durchgeführter Dekompression.

|               |  |
|---------------|--|
| Name, Vorname |  |
| Straße        |  |
| PLZ, Ort      |  |
| Geburtsdatum  |  |
| Beruf         |  |

Ich erkläre hiermit, daß ich

- in den letzten 24 Stunden keinen Tauchgang durchgeführt habe,
- im Besitz eines gültigen Tauchscheines bin und eine Tauchpraxis von mindestens 50 Tauchgängen habe,
- im Besitz einer gültigen ärztlichen Tauchtauglichkeitsuntersuchung nach den Richtlinien meines Verbandes bin,
- keine luftgefüllten Gegenstände ohne Erlaubnis durch den Einsatzleiter mit in die Kammer nehmen werde,
- an keiner Erkrankung leide, bzw. eventuell bestehende Erkrankungen vor der Probeschleusung mit dem anwesenden Taucherarzt bespreche,
- und mich körperlich und geistig den Anforderungen gewachsen fühle und nicht unter Alkohol- oder Medikamenteneinfluß stehe,
- noch niemals einen Tauchunfall erlitten habe.

|            |              |
|------------|--------------|
| Ulm, Datum | Unterschrift |
|------------|--------------|