

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Kreislaufgerät

TR300c

Version 2.5 (08.12.2012)



Inhaltsverzeichnis

1.	Haftungsausschluss	5
2.	Vorwort.....	6
3.	Teilnahmevoraussetzungen	7
4.	Medizinisch-physiologische Aspekte des Rebreather-Tauchens	8
4.1.	Sauerstoffvergiftung (Hyperoxie)	8
4.2.	Sauerstoffmangel (Hypoxie)	10
4.3.	Kohlendioxidvergiftung (Hyperkapnie).....	11
4.4.	Verätzung durch Atemkalk	12
4.5.	Sauerstoffintoleranz der Lungen - OTU (oxygen toxicity units)	14
4.6.	Wiederholungsfragen	16
5.	Physikalische Grundlagen.....	17
5.1.	Absoluter Druck	17
5.2.	Daltons Gesetz.....	18
5.3.	Best Mix	20
5.4.	Die O ₂ Tiefengrenze (MOD - Maximum Operation Depth)	20
5.5.	Das O ₂ Zeitlimit	21
5.6.	Berechnung der äquivalenten Lufttiefe EAD.....	25
5.7.	Beispiel zur Berechnung der Nullzeit	26
5.8.	Wiederholungsfragen	28
6.	Der Aufbau von Kreislaufgeräten	29
6.1.	Das Prinzip des Atemkreislaufs	29
7.	Gerätebeschreibung TR300c	31
7.1.	Modellkennzeichen	31
7.2.	Lieferumfang:.....	31
7.3.	Wichtige Merkmale.....	32
7.4.	Verwendungszweck	32
7.5.	Aufbau des Gerätes	33
7.5.1.	Gehäuse	33
7.5.2.	Flaschen.....	33
7.5.3.	Druckminderer	34
7.5.4.	Bypass	34
7.5.5.	Kalkbehälter	35
7.5.6.	Die Frischgasversorgung.....	37
7.5.6.1.	Manuelle Frischgasversorgung (Sauerstoff)	37
7.5.6.2.	Konstante Frischgasversorgung (Sauerstoff)	37
7.5.6.3.	Lungenautomatische Frischgasversorgung- ADV (Diluent).....	37
7.5.7.	Sauerstoffsensoren	39
7.5.8.	Sauerstoffmonitor.....	39
7.5.9.	Gegenlunge.....	40
7.5.10.	Doppelatemschlauch	42
7.5.11.	Überdruckventil (fest)	42
7.5.12.	Wiederholungsfragen	43
8.	Funktionsbeschreibung	43
8.1.1.	Sauerstoffdosierung und Verdünnungsgas.....	45



8.1.1.1.	Sauerstoffdosierung.....	45
8.1.1.2.	Verdünnungsgas	46
9.	Das Tauchen mit dem TR300c.....	48
9.1.	TG- Planung	48
9.2.	Berechnung des FiO ₂ (O ₂ -Anteil im Atemkreislauf).....	49
9.3.	Vorbereitung vor dem Gebrauch.....	50
9.3.1.	Mischgas.....	50
9.3.2.	Flaschen.....	50
9.3.3.	Druckminderer	51
9.3.4.	Dosierung	51
9.3.5.	Kalkbehälter	52
9.3.6.	Atembeutel	60
9.3.7.	Doppelatemschlauch	61
9.3.8.	Überdruckventil.....	61
9.3.9.	Dichtigkeitsprüfung.....	61
9.3.10.	Tarierweste	62
9.3.11.	Bailout	62
9.3.12.	Sauerstoffüberwachung	62
9.4.	Sicherheitshinweise	64
9.5.	Pflege des TR 300c	65
9.5.1.	Reinigung	65
9.6.	Wiederholungsfragen	66
10.	Wartung.....	67
10.1.	Transport und Lagerung	67
10.2.	Service	67
11.	Anmerkungen.....	68
12.	Übungen:.....	69
12.1.	Atemkreislauf Spülen an Land / Unterwasser	69
12.2.	Herausnehmen des Mundstück über/unter Wasser	69
12.3.	Atemschlauch „ausschütteln“	69
12.4.	Wechsel Mundstück Bailoutautomat über/unter Wasser	69
12.5.	Ab-/Anlegen Gerät	70
12.6.	Schwimmen in verschiedenen Lagen.....	70
12.7.	Wechselatmen	70
12.8.	Dekostops	71
13.	Anhang.....	72
13.1.	Atemkreislauf spülen.....	73
13.2.	Abtauchen.....	73
13.3.	Auftauchen	74
13.4.	Die Atemtechnik des TR300c	74
13.5.	Wiederholungsfragen	76
14.	Tauchpraxis / Übungen	78
14.1.	Gerätevorbereitung.....	78
14.2.	Praktischer Umgang	78
14.2.1.	Poolübungen.....	78
14.2.2.	Open - Water Übungen 1	78
14.2.3.	Open - Water Übung 2	78
14.2.4.	Open - Water Übung 3	79



14.2.5.	Spezielle Handzeichen	79
14.2.6.	Probleme und Behebung	80
14.2.6.1.	Verlust des Mundstücks	80
14.2.6.2.	Erbrechen unter Wasser	80
14.2.6.3.	Kalk verbraucht	80
14.2.6.4.	Kalkpatrone geflutet	80
14.2.6.5.	Wassereinbruch	80
14.2.7.	Wiederholungsfragen	81
15.	Praxistipps.....	82
15.1.	Bebleiung	82
15.2.	Verwendung von Nitroxcomputern ohne Sauerstoffsensoren.....	82
15.3.	Verwendung von Tauchcomputern mit Sauerstoffsensoren	82
15.4.	HF Festigkeit	83
15.5.	Geräuschwahrnehmung	83
15.6.	Kondenswasser	83
16.	Glossar.....	84
17.	Tabellen	87
18.	Formeln	90
19.	Wissen	91
19.1.1.	Sauerstoffanteil im Kreislauf eines CCR	92
19.1.2.	Verätzungen mit Atemkalk	92

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



1. Haftungsausschluss

Tauchen ist nicht nur in der Vergangenheit, sondern auch heute und in der Zukunft ein potentiell gefährlicher Sport. Eine gründliche und fundierte Ausbildung ist von elementarer Bedeutung, denn eine falsche Tauchgangsplanung oder Fehler in der Bedienung von Tauchgeräten können im Ernstfall zu erheblichen Beeinträchtigungen der Gesundheit bis hin zum Tode führen. Die Ausbildung durch einen lizenzierten und autorisierten Tauchlehrer wird durch das Lesen dieses Manuals nicht ersetzt. Dieses Manual ist nicht als ein Ausbildungsersatz für Taucher geschrieben worden, die vorhaben, Tauchaktivitäten über ihre eigenen Fähigkeiten hinaus zu verfolgen.

Die Autoren, Übersetzer und Herausgeber, die an der Erstellung dieses Manuals beteiligt waren, sind nicht verantwortlich und übernehmen keinerlei Haftung für Unfälle und Schäden jeglicher Art, die bei Tauchaktivitäten auftreten oder im Zusammenhang mit dem Inhalt dieses Werkes entstehen.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie das Recht der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder anderes Verfahren) – auch nicht auszugsweise – ohne schriftliche Genehmigung der Autoren reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



2. Vorwort

Lieber Taucher, liebe Taucherin,
herzlich willkommen in der in den letzten Jahren immer mehr gewachsenen
Gemeinde der Rebreather - Taucher. Aus gutem Grund hört man von fast
jedem Tauchsportler, der einmal mit einem Rebreather getaucht ist, wie
wunderbar das stille, blasenfreie Schweben durch die Unterwasserwelt sein
kann. Bei dieser nicht neuen, aber besonders stillen Form des Tauchens wird
durch die intensivere Wahrnehmung des Naturerlebnisses der Inhalt unseres
schönen Sports neu definiert. Die Vorteile des Kreislaufgerätetauchens sind
unschlagbare Argumente für eine stetig wachsende Fangemeinde in aller
Welt.

Voraussetzung für diesen sehr interessanten Sport ist neben den geistigen
Grundlagen natürlich auch ein geschulter und sicherer Umgang mit dieser
faszinierenden Technik.

Den wichtigsten Grundstein dafür hast Du bereits mit der Absolvierung eines
Nitrox Basic User / Nitrox Diver Kurses oder eines ähnlichen Brevets bei
einem anerkannten Verband gelegt. Die Kenntnisse aus diesem Kurs sind für
Dich zum sicheren Verständnis des Umgangs mit der Rebreather -
Technologie unerlässlich.

Die Dir noch fehlenden notwendigen theoretischen Kenntnisse wirst du Dir in
Unterricht und Selbststudium erarbeiten und mit Hilfe der Übungsfragen
kannst Du Dein Wissen kontrollieren und festigen.

Die Theorie ist jedoch nur die eine Seite der Medaille, denn in der
Praxisunterweisung durch einen qualifizierten und von H.B.-Best
autorisierten Tauchlehrer wirst Du weitere wichtige Erfahrungen sammeln
können.

Dieses Manual wird Dir auf eine einfache und verständliche Art und Weise
das Wissen vermitteln, welches Du brauchst, um auch ein begeisterter
TR300c Rebreather – Taucher zu werden. Da jedes Kreislaufgerät ganz
spezifische Merkmale und Eigenschaften hat, möchten wir darauf hinweisen,
dass sich der Inhalt dieses Manuals nur auf den Umgang mit dem TR300c
Kreislaufgerät bezieht, auch wenn viele beschriebene Sachverhalte sicherlich
allgemeine Gültigkeit besitzen.

Alle Taucherinnen mögen es bitte den Autoren dieses Manuals verzeihen,
dass der Einfachheit halber im folgenden Text auf die umfassende
Formulierung „Taucher und Taucherinnen“ verzichtet wurde. Wir möchten
ausdrücklich darauf hinweisen, dass wir das Rebreathertauchen nicht als
reine Männerdomäne verstehen. Natürlich sollen unter dem allgemeinen
Begriff des Tauchers auch die weiblichen Taucher erfasst sein.

Viele aufregende Tauchgänge wünschen Dir

Holger Berghäuser

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



3. Teilnahmevoraussetzungen

- minimale Brevetstufe Silber, Advanced Open Water oder entsprechendes Äquivalent
- Nitrox Level 1 oder entsprechendes Äquivalent, bei Nichtvorhandensein kann das Brevet in die Ausbildung integriert werden.
- 50 geloggte Tauchgänge
- Gültiges Ärztliches Attest über die Tauchtauglichkeit (nicht älter als ein Jahr)

Kursmodalitäten

Der Teilnehmer erklärt schriftlich seine Teilnahme auf eigenes Risiko.
Die Ausbildung entspricht den vom TR300c Verein geforderten Standards.

Kursablauf

Theorie:

- Nitroxtheorie
- Gerätekunde
- Tauchgangsplanung
- Notfallverfahren

Praxis:

- Gerät Vor und Nachbereitung
- Tauchgangsplanung und Durchführung
- Tauchtechniken im Freiwasser
- Bewältigung von Notsituationen

Brevetierung:

Nachweis der Kenntnisse:

- Schriftliche Prüfung
- Freiwasserprüfungstauchgänge



4. Medizinisch-physiologische Aspekte des Rebreather-Tauchens

Prinzipiell ist das Tauchen mit Rebreathern aus medizinischer Sicht nicht anders als das Tauchen mit einem konventionellen System. Alle Problembereiche, die dort auftreten, sind auch beim Rebreathertauchen zu beachten. Nur deren Ausprägung kann sich aufgrund der Atemgase und der speziellen Konstruktion des Atemkreislaufs anders auf den Taucher auswirken. Die Kenntnisse aus den vorangegangenen Ausbildungen (Grundausbildung, Nitrox) sind deshalb unerlässlich und sollten bei dieser Gelegenheit zumindest wieder aufgefrischt werden.

Im folgenden Abschnitt sollen die physiologischen Bereiche erläutert werden, die besonders beim Rebreathertauchen zu beachten sind:

- Hyperoxie (Sauerstoffvergiftung)
- Hypoxie (Sauerstoffmangel)
- Hyperkapnie (Kohlendioxidvergiftung)
- Verätzung durch Atemkalk
- Sauerstoffintoleranz der Lungen

Sauerstoff als wichtigster Bestandteil unserer Atemluft hat im Normalfall nur positive Wirkungen auf den menschlichen Organismus. Dieses lebenswichtige Gas spielt bei verändertem Umgebungsdruck jedoch nicht immer eine positive Rolle. Eine dieser negativen Wirkungen ist die

4.1. Sauerstoffvergiftung (Hyperoxie)

Grundsätzlich werden zwei verschiedene Arten der Sauerstoffvergiftung unterschieden.

Welche Art letztlich auftritt, ist abhängig von der Dauer der Einwirkzeit (Expositionszeit) sowie vom Partialdruck des Sauerstoffs(#1). Der Unterschied besteht hauptsächlich in den Symptomen.

1. Der lungentoxische Effekt (Lorrain- Smith- Effekt) und
2. Der neurotoxische Effekt (Paul-Bert-Effekt)

Der lungentoxische Effekt, der auch als pulmonale oder ZNS - Sauerstoffvergiftung bekannt ist, tritt erst ab einem Sauerstoffpartialdruck von 0,5 bar in Verbindung mit einer sehr langen Einwirkzeit auf. Die auftretenden Symptome sind Atemwegsreizungen, Schmerzen im Lungen- und Rachenbereich, trockener Husten und Atemnot.

Im normalen Sporttauchen wird jedoch eine Expositionszeit des Sauerstoffs von 10 Stunden oder mehr niemals erreicht. Aus diesem Grund spielt er beim

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Sporttauchen praktisch keine Rolle. Anders verhält es sich beim neurotoxischem Effekt:

Bei Überschreitung des höchst zulässigen Sauerstoffpartialdrucks von 1,6 bar (#2) kann es bereits nach relativ kurzer Expositionszeit zu Vergiftungserscheinungen kommen. Die Ursache dafür ist eine Vergiftung des Zentralen Nervensystems, bei der es zu folgenden Symptomen kommen kann:

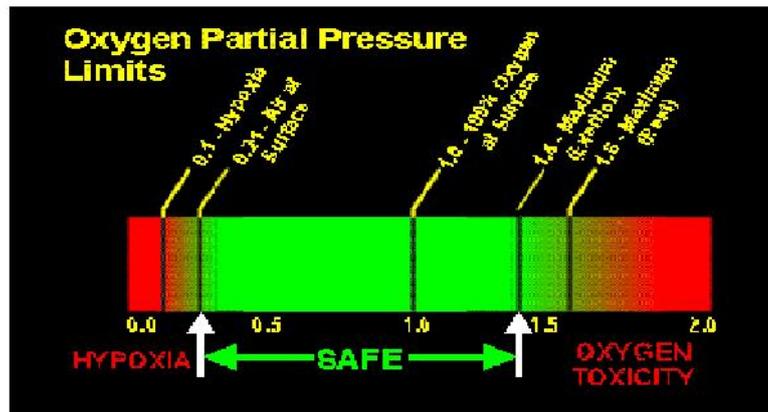
- Zuckungen (z. B. Gesichtsmuskeln, Hände, Beine)
- Sehstörungen (z. B. Tunnelblick)
- Krampfanfälle (kann zum Ertrinken führen!)
- Schwindelgefühl
- Verwirrtheit
- Übelkeit
- Ohrgeräusche (z. B. Klingeln)
- Atemnot

Diese Symptome treten mit unterschiedlicher Intensität und ohne Vorwarnungen auf.

Im schwersten Fall kann durch den auftretenden Krampfanfall mit anschließender Bewusstlosigkeit unter Wasser der Tod durch Ertrinken die bittere Folge sein.

1. Partialdruck - Teildruck eines Gases, siehe dazu: Gesetz von Dalton
2. z. B. durch Nichtbeachten der dem Gasgemisch in der Druckflasche entsprechenden maximalen Tiefengrenze

Die körperliche Konstitution ist nicht jeden Tag gleich, aus diesem Grund sollte man keine Experimente im Grenzbereich machen. Ein Tauchgang von 45 Minuten auf 30 m Tiefe mit 40 % NITROX (pO_2 1,6 bar) kann heute wunderbar klappen, aber eine Woche später kann es sein, dass man schon die ersten Symptome feststellt. Der menschliche Körper hat eine relativ große Toleranz gegenüber Sauerstoff, auf die man sich jedoch nicht immer gleich verlassen kann. Während des Tauchgangs ist deshalb die ständige Kontrolle der Tauchzeit, der Tauchtiefe und des Sauerstoffpartialdrucks im Atemkreislauf unerlässlich! Ein Taucher muss stets informiert sein, **wie lang er was** und vor allem **w o** er es atmet!



Der Bedarf von 0.8 l/min entspricht einem Taucher in Ruhe, der max. Bedarf von 1.3 l/min entspricht einem Taucher mit normalen ruhigen Flossenschlag. Bei anstrengenden (Strömung) Tauchgängen muss mit einem höheren Bedarf gerechnet werden (bis 3 l/min) und entsprechend der Flow/min erhöht werden.

Natürlich kann man solchen Vergiftungserscheinungen durch präventive Maßnahmen vorbeugen, z. B. durch Vermeidung eines zu hohen Kohlendioxidanteils im Atemgas, Schutzmaßnahmen gegen zu starke Hitze oder Kälte, beachten von eventuellem Medikamenteneinfluss sowie möglichst keiner erhöhten körperlichen Anstrengung beim Tauchen. Auch das Einlegen von längeren Oberflächenpausen und konservative Berechnungen der maximalen Tauchtiefe (max. pO_2 - Wert 1,4 bar) sind sinnvolle Maßnahmen. Die Sensibilisierung für die Symptome und das Wissen um diese Problematik sollte also bei jedem Tauchgang stets dabei sein.

Wenn eine O_2 - Vergiftung auftritt, ist folgende Vorgehensweise wichtig:

Der Krampfanfall ist gekennzeichnet von ein- bis zweiminütigen schweren Zuckungen der Muskulatur, gefolgt von Bewusstseinsverlust. Der Taucher sollte dringend Pressluft bzw. Frischluft atmen und aus dem Wasser gebracht werden. Die Verabreichung von normobarem Sauerstoff sollte nicht erfolgen. Nach Prüfung von Herzschlag und Atmung muss das Opfer sicher gelagert werden, bis der Arzt vor Ort ist oder der Transport ins Krankenhaus erfolgen kann. Innerhalb von einer Stunde ist dann normalerweise das Opfer wieder ansprechbar und klagt über Kopfschmerzen. Meistens tritt auch eine Art „Filmriss“ auf. Wenn das Opfer also früh genug aus dem Wasser herausgebracht werden kann, sind die Überlebenschancen in der Regel sehr gut.

4.2. Sauerstoffmangel (Hypoxie)

kann auftreten, wenn der Taucher durch die Atmung nicht mit genügend Sauerstoff versorgt wird. Beim Tauchen mit offenem System ist das Auftreten einer Hypoxie relativ unwahrscheinlich, es sei denn, das Atemgas ist verunreinigt. Durch die



Abgabe der Ausatemluft an die Umgebung kann kein Gas mit zu geringem Sauerstoffanteil eingeatmet werden. Das Risiko einer Hypoxie ist beim Rebreathertauchen wesentlich höher, da durch Fehlbedienung oder Fehlfunktion des Gerätes der Sauerstoffgehalt der Atemluft entscheidend beeinflusst werden kann.

Folgende Ursachen können gegebenenfalls zu einem Sauerstoffmangel führen:

- Die konstante Dosierung ist verstopft oder defekt.
- Die Menge des eingeleiteten Sauerstoffs liegt unter der Menge des Verbrauchs des Tauchers (über längere Zeit).
- Der Taucher bemerkt nicht, dass der Gasvorrat verbraucht ist und kein Sauerstoff mehr nachströmt (Finimeter regelmäßig kontrollieren!).
- Der Taucher hat die Flaschenventile vor dem Tauchgang nicht oder nicht richtig geöffnet.
- Der Sauerstoffanteil sinkt im Atemkreislauf durch den nicht oder nur ungenügend durchgeführten „Spülvorgang“.

Die entscheidende Größe ist auch hier wieder der Sauerstoffpartialdruck. Sinkt dieser unter ein Niveau von 0,21 bar und wird dabei die Tauchtiefe drastisch reduziert, steigt die Möglichkeit einer Hypoxie stark an. Ab einem Partialdruck pO_2 von 0,16 bar können erste Sauerstoffmangelerscheinungen auftreten. Sinkt der Partialdruck pO_2 noch weiter ab, kann es zu der unter Wasser lebensbedrohlichen Bewusstlosigkeit kommen.

Erste Symptome einer Hypoxie können Konzentrationsschwierigkeiten oder Sichteinschränkungen (Tunnelblick) sein, wobei auch ohne wahrnehmbare Symptome gleich eine Bewusstlosigkeit auftreten kann. Die Gefahr ist also nicht zu unterschätzen.

Bemerkt man beim Tauchgang einen solchen stark gesunkenen O_2 - Partialdruck, führt eine rasche Zuführung von Sauerstoff über das Ventil, und „spülen“, zu einer Steigerung des Partialdrucks und somit zu einer Entschärfung der Gefahrensituation.

Aber auch der sofortige Umstieg auf eine alternative Atemgasversorgung (Bailout oder Buddy) ist eine sinnvolle Alternative.

Im schlimmsten Fall einer aufgetretenen Hypoxie muss dem Opfer so schnell wie möglich 100 %iger Sauerstoff verabreicht werden.

Die beste Vorbeugung ist natürlich eine regelmäßige Kontrolle des Sauerstoffpartialdrucks bzw. aller mitgeführten notwendigen Instrumente (Sauerstoffmonitor).

Durch eine bewusste und sorgfältige Planung, Vorbereitung und Durchführung der Tauchaktivitäten kann eine solche hypoxische Situation vermieden werden.

4.3. Kohlendioxidvergiftung (Hyperkapnie)

Eine Hyperkapnie bezeichnet eine Erhöhung des Kohlendioxidspiegels im Blut.



Das farblose, nicht brennbare Gas, welches ca. 0,03 Vol.-% unserer Umgebungsluft ausmacht, entsteht im Organismus bei der Verbrennung von Eiweiß, Fetten und Kohlenhydraten und wird dann über die Lunge abgeatmet. In der Grundausbildung lernen die meisten beim Tauchen mit offenem System die Symptome einer Hyperkapnie kennen, nämlich beim „Essoufflement“ (#3):

- Kurzatmigkeit bis zur Atemnot
- Angstgefühl
- Kopfschmerzen
- Übelkeit, Erbrechen
- Konzentrationsprobleme

Beim Tauchen mit Rebreather ist eine Hyperkapnie bei Fehlfunktionen oder Fehlbedienungen unter Umständen sogar noch wahrscheinlicher, da durch das technologisch bedingte Wiedereinatmen des Gasmischs die Erhöhung des Kohlendioxidspiegels im Blut noch schneller gehen kann. Über den Kohlendioxidgehalt des Blutes wird der Atemreflex geregelt, der dann für eine flachere und schnellere Atmung sorgt. Durch diese hechelnde Atmung sind die Sauerstoffaufnahme und die Kohlendioxidabgabe vermindert, was zu einer weiteren Verschlechterung der Situation führt. Die gefährliche Folge kann Bewusstlosigkeit ohne Vorwarnung sein.

Folgende Ursachen können verantwortlich sein für eine auftretende Hyperkapnie:

- Verunreinigtes Atemgas
- Kein Atemkalk im Behälter
- Schlecht verdichteter Atemkalk, dadurch Entstehung von Gaskanälen, in denen keine ausreichende Bindung des Kohlendioxids
- Verbrauchter oder nasser Atemkalk
- Defekte Richtungsventile im Mundstück können zu Pendelatmung führen, bei der nicht das gesamte Atemgas durch den Atemkalk geführt wird.
- Überanstrengung (z.B. gegen eine Strömung ankämpfen), dadurch wird der Atemkalk überatmet, heißt er kann das CO₂ nicht mehr schnell genug binden

In den meisten Fällen kann der Taucher die auftretenden Symptome selbst wahrnehmen. Die grundsätzlich erste Maßnahme sollte der Umstieg auf eine redundante Gasversorgung (Bailout, Buddy) sein, danach Abbruch des Tauchgangs. Wenn aber eine Notsituation entstanden ist, sind das Verhindern von weiterem Kohlendioxidkonsum bzw. die Verabreichung von 100 %-igem Sauerstoff die sinnvollsten Maßnahmen. Das Opfer sollte dabei ständig beobachtet (Puls, Atmung) und eventuell der Arzt konsultiert werden.

#3) außer Atem geraten (Französisch)

4.4. Verätzung durch Atemkalk



Eine Verätzung durch Atemkalk ist eigentlich eine chemische Verbrennung. Diese kann nur dann vorkommen, wenn Wasser in den Atemkalkbehälter eindringt. Das Wasser bildet in Verbindung mit dem Kalk eine Lauge, welche die Atemwege des Tauchers verätzen kann, wenn er sie einatmet.

Aus der Gegenlunge strömt die kohlendioxidreiche Ausatemluft in den Kalkabsorber, in dem nun das vorhandene Kohlendioxid durch eine exotherme Reaktion (Freisetzung von Wärmeenergie) gebunden wird. Bei dieser Reaktion werden prinzipiell drei Phasen unterschieden:

- 1. Phase Gasphase
Das Kohlendioxid bildet Kohlensäure.
$$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \quad \text{H}_2\text{CO}_3$$
- 2. Phase Flüssigkeitsphase
Die entstandene Kohlensäure reagiert mit dem vorhandenen Alkalihydroxid zu Natriumcarbonat und Wasser.
$$\text{H}_2\text{CO}_3 + 2 \text{NaOH} \quad \text{Na}_2\text{CO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$$
- 3. Phase Festphase
Das entstandene Natriumcarbonat (Salz) reagiert mit Calciumhydroxid zu Calciumcarbonat und Natriumhydroxid.
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \quad \text{CaCO}_3 + 2\text{NaOH}$$

Diese chemische Reaktion kann durch mehrere verschiedene Faktoren in ihrer Wirksamkeit beeinflusst werden, d. h. die Dauer der Reaktionsfähigkeit des Kalkes (die so genannte Standzeit) und die Effektivität der Kohlendioxidbindung schwanken je nach

- Konstruktion des Atemkalkbehälters
(radiale oder lineare Durchströmung des Atemgases sowie eingesetzte Menge des Atemkalks)
- Verdichtung des Atemkalks
(Vermeidung von Gaskanälen und Klumpen Bildung)
- Gesamtfeuchtigkeitsgehalt des Atemkalks
- Temperatur des Atemkalks
(Bedingt durch die Wassertemperatur oder die Isolation des Behälters)

Neben diesen Faktoren beeinflusst auch die Atemarbeit des Tauchers, also der Kohlendioxid ausstoß, erheblich die Nutzungsdauer des Atemkalks. Da ein erwachsener Mensch durchschnittlich für einen eingeatmeten Liter Sauerstoff 0,8-0,9 Liter Kohlendioxid ausatmet und bei einer Stresssituation sich diese Werte auf das 2,5fache erhöhen können, wird folglich auch mehr Kohlendioxid im Atemkalk gebunden. Die Mindestabsorptionsmenge des Atemkalks ist je nach Sorte unterschiedlich begrenzt und sollte bei der Berechnung der Einsatzdauer grundsätzlich mit einbezogen werden.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Eine sorgfältige, luftdichte und trockene Lagerung des Atemkalks ist eine weitere Voraussetzung für die optimale Standzeitausnutzung. Alle Angaben zur Einsatzdauer des Atemkalks sind deshalb meist sehr konservativ gewählt, sollten aber trotzdem zwingend eingehalten werden. Es gibt mittlerweile viele verschiedene Atemkalkprodukte (Divesorb, Sofnolime, Soda Lime, Spherasorb und andere), die sich in ihren Eigenschaften alle etwas unterscheiden. Man sollte jedoch immer den vom Hersteller des Rebreather empfohlenen Atemkalk verwenden, da die Geräte meist auf die speziellen Eigenheiten des Atemkalks abgestimmt sind (z. B. Körnung des Granulats, Staubbildung, Standzeiten, Temperaturentwicklung usw.).

Wichtig zu wissen ist es, dass Atemkalk, der einmal verwendet wurde, sich selbst nicht mehr regenerieren kann. Verbrauchter Atemkalk kann nur noch entsorgt werden. Eine Überschreitung der Standzeit oder die Wiederbenutzung von verbrauchtem Atemkalk kann unter Umständen zu tödlichen Unfällen führen!
(Gefahr einer Hyperkapnie)

Aufgrund der Konstruktion des Atemkreislaufs des TR300c ist eine Verätzung durch Atemkalk relativ unwahrscheinlich, aber bei grober Fehlbedienung des Gerätes möglich. Bei nicht richtigem Zusammenbauen der Komponenten und ausgelassener Dichtigkeitsprüfung vor dem Tauchgang oder Kalkgranulat im Sensorbereich des Atemkalkbehälters kann es zu solcherart Unfällen kommen. Ein brennendes Gefühl in den Atemwegen, ein seifiger Geschmack, plötzlicher Hustenzwang oder andere Atemprobleme können Anzeichen für Kalkklauge im Atemkreislauf sein. Der Tauchgang sollte dann sofort abgebrochen werden und die Mundhöhle ausgespült werden. Das Inhalieren Cortison haltiger Lungensprays kann größere Schäden der Lunge verhindern helfen. Auf jeden Fall ist zur Vermeidung von Folgeschäden ein Arzt zu konsultieren. Das Gerät kann nach gründlichem Ausspülen, Desinfizieren und Abstellen des Lecks wieder zum Einsatz kommen.

4.5. Sauerstoffintoleranz der Lungen - OTU (oxygen toxicity units)

Die OTU Berechnung ist nur dann von besonderer Relevanz, wenn über einen längeren Zeitraum Sauerstoff geatmet wird, z. B bei Druckkammeraufenthalten oder beim Tauchen mit Sauerstoffkreislaufgeräten. Wie schon im voranstehenden Abschnitt über die Hyperoxie erwähnt, kann es bei längeren Sauerstoff - Expositionszeiten zu einem lungentoxischen Effekt (Lorrain-Smith-Effekt) kommen. Diese Sauerstoffintoleranz wird mithilfe von OTU's angegeben. Eine Oxygen Toxic Unit stellt hierbei das ein minütige Einatmen von normobarem Sauerstoff (1 min 100 % Sauerstoff bei 1 bar) dar.

Holger Berghäuser
 Beratung, Entwicklung und Vertrieb
 für System- und Tauchtechnik
 Silcherweg 2
 69469 Weinheim
info@hb-best.de



pO ₂	ZNS- Zeitlimit Maximal dauer (in Minuten)	ZNS % (pro min)	OTU (pro min)		ZNS- Zeitlimit Maximal dauer (in Minuten)	ZNS % (pro min)	OTU (pro min)
	714	0,14	0,26		227	0,44	1,24
	556	0,18	0,47		213	0,47	1,32
	500	0,20	0,56		196	0,51	1,40
	455	0,22	0,65		179	0,56	1,48
	400	0,25	0,74		164	0,61	1,55
	357	0,28	0,83		154	0,65	1,63
	333	0,30	0,92		139	0,72	1,70
	303	0,33	1,00		120	0,83	1,78
	270	0,37	1,08		90	1,11	1,85
	238	0,42	1,16		45	2,22	1,92

Tabelle 3



4.6. Wiederholungsfragen

1. Welche Arten der Sauerstoffvergiftungen werden unterschieden?

2. Ab welchem Sauerstoffpartialdruck kann es zu Vergiftungssymptomen kommen?

3. Wann kann es zu einer Hypoxie kommen?

4. Welche Maßnahme sollte bei einer Hyperkapnie die erste sein ?

5. Welche Maßnahmen sind bei einer Atemkalkverätzung zu treffen ?

6. Was versteht man unter Essoufflement?

7. Was versteht man unter Sauerstoffintoleranz der Lunge



5. Physikalische Grundlagen

5.1. Absoluter Druck

Für unsere Berechnungen bei der Tauchgangsplanung ist der Umgebungsdruck, der so genannte absolute Druck, maßgeblich. Der absolute Druck (p) ergibt sich aus dem Luftdruck in Meereshöhe (ca. 1,0 bar) und dem Druck der Wassersäule (1 bar pro 10 Meter Tiefe).

In einer Gleichung ausgedrückt ergibt dies:

$$p = \left(\frac{\text{Tiefe}}{10} + 1 \right) \text{ bar}$$

Beispiel:

Welcher Druck herrscht in 37 m Tiefe?

$$p = \left(\frac{37}{10} + 1 \right) = 4,7 \text{ bar}$$

Somit lässt sich für jede Tiefe der absolute Druck berechnen. Später ist dies für uns wichtig, um den Sauerstoffpartialdruck in einer vorgegebenen Tiefe zu bestimmen.

Umgekehrt kann man genauso mit dem absoluten Druck die Tiefe errechnen:

$$(p - 1,0) \times 10 = \text{Tiefe}$$

Beispiel:

In welcher Tiefe herrscht ein Druck von 2,2 bar?

$$(2,2 \text{ bar} - 1) \times 10 = 12\text{m}$$



5.2. Daltons Gesetz

Die Summe aller Teildrücke eines Gases entspricht seinem Gesamtdruck.

Das Gesetz von Dalton gilt selbstverständlich auch für NITROX.
Der Gesamtdruck eines Gasgemisches setzt sich also aus den
Teildrücken eines Gases zusammen. Das bedeutet für ein Nitrox 32:

$$p = p_1 + p_2$$
$$p = 0,32 \text{ bar O}_2 + 0,68 \text{ bar N}_2 = 1,0 \text{ bar}$$

Merke:

Die Partialdrücke von O₂ (pO₂) und N₂ (pN₂) ergeben den absoluten
Druck (p).

Der Partialdruck eines Gases (p_G) ist für den Taucher von entscheidender
Bedeutung, da von diesem die physikalischen, chemischen und
physiologischen Auswirkungen auf den Körper bestimmt werden.
Vor dem Tauchgang ist uns die Mischung des Gasgemisches bekannt, da
die Auswirkung der Gase jedoch von Ihrem Partialdruck abhängig sind,
müssen wir diesen für die entsprechende Tiefe ermitteln. Dies geschieht am
einfachsten mit einer Formel, die auch als Daltons DIAMOND bezeichnet
wird:

$$p_G = F_G \times p$$

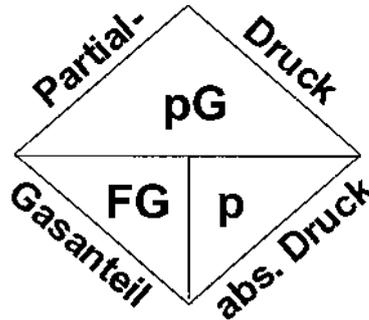
Beispiel:

Welcher Partialdruck für O₂ (pO₂) entsteht bei normaler Pressluft unter 3,3
bar absolutem Druck?

$$0,21 \times 3,3 \text{ bar} = 0,69 \text{ bar pO}_2$$

Mit dieser Formel und ihren Ableitungen können alle anderen Werte, die für
einen Nitrox - Tauchgang entscheidend sind, ermittelt werden.

DALTON'S DIAMOND



Mit dem DALTON'S DIAMOND können durch Umstellung der Variablen folgende Fragen schnell beantwortet werden:

1. Welches Gasgemisch verwende ich in einer bestimmten Tiefe?

Umstellung nach FG

$$FG = \frac{pG}{p}$$

Das somit berechnete Gasgemisch wird auch als **Best Mix** bezeichnet.

2. Bei welcher Tiefe liegt die maximale Tiefengrenze (max. pO_2) bei einem gegebenem Gasgemisch?

Umstellung nach p

$$p = \frac{pG}{FG}$$

Aus dem absoluten Druck lässt sich danach die Tiefengrenze errechnen.

3. Welchem Sauerstoffpartialdruck (pO_2) bin ich bei gegebenem Gasgemisch und meiner geplanten Tiefe ausgesetzt?

Umstellung nach pG

$$pG = FG \times p$$

Dieser errechnete Sauerstoffpartialdruck (pO_2) ist zur weiteren Berechnung des ZNS - Zeitlimits notwendig.



5.3. Best Mix

$$FG = \frac{pG}{p}$$

Gasanteil = Partialdruck/absoluten Druck

Beispiel:

Bei einem optimalen und sicheren pO_2 von 1,4 bar wird ein Tauchgang auf 15 Meter geplant. Wie hoch darf der Sauerstoffgehalt in meinem Gemisch sein?

$$FO_2 = \frac{pO_2}{p}$$

Wir ersetzen den absoluten Druck durch die Tauchtiefe.

$$FO_2 = \frac{pO_2 \times 10}{Tiefe + 10}$$

$$FO_2 = \frac{1,4 \text{ bar} \times 10}{15 + 10}$$

$$FO_2 = 0,56 = 56 \% O_2$$

5.4. Die O₂ Tiefengrenze (MOD - Maximum Operation Depth)

Während eines Tauchgangs mit einem Nitroxgemisch darf ein pO_2 von 1,4 bar in kalten Gewässern nicht überschritten werden. In warmen Gewässern darf der pO_2 in Ausnahmesituationen bis 1,6 bar überschritten werden. Zur Berechnung der durch den Sauerstoffpartialdruck begrenzten Tauchtiefe benötigen wir zunächst die Gleichung zur Berechnung der MOD:

$$MOD = \left(\frac{pO_2 - \Delta S}{FO_2} - 1 \right) \times 10$$

pO_2 : gewählter Partialdruck für den Tauchgang

S: Sicherheitsabstand zum Diluent

FO_2 : Sauerstoffanteil Diluent



Bei einem CCR Kreislaufgerät ist die MOD nur durch das Diluent begrenzt, da wir ja auf jeder zwischentiefe immer den „best mix“ haben.

Beispiel:

Bei einem Diluent von Nitrox 32 und einem pO₂ von 1,2 bar ist die MOD gesucht.

$$\text{MOD} = \left(\frac{1,2 \text{ bar O}_2 - 0,2}{0,32} - 1 \right) \times 10$$

$$\text{MOD} = 21 \text{ m}$$

Die maximale Einsatztiefe mit NITROX 32 als Diluent bei Beachtung eines pO₂ von 1,2 bar beträgt 21 Meter.

5.5. Das O₂ Zeitlimit

Neben der Kontrolle des Sauerstoffpartialdruckes während des Tauchgangs ist auch die Zeit, die der Taucher unter diesem pO₂ atmet, von großer Bedeutung. Hierzu betrachten wir die Sauerstoffexpositionszeitgrenzen für das zentrale Nervensystem (ZNS) unseres Körpers. Eine Überschreitung dieser Sauerstoffexpositionszeitgrenzen führt zu den Symptomen einer Hyperoxie und kann damit den Tod zur Folge haben!

Die Belastung des ZNS wird in der Praxis in Prozent angegeben, die maximale Zeitgrenze ist also bei 100 % erreicht. Es gibt heutzutage schon Tauchcomputer, die eine solche ZNS – Belastungsangabe besitzen.

Die Tabelle der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ist bei der Kontrolle des O₂ - Zeitlimits eine wichtige Hilfe.

NOAA Oxygen Partial Pressure and Exposure Time Limits for Nitrogen – Oxygen Mixed Gas Dives				
pO ₂ bar	O ₂ Single Exposure		24 Hour Total Exposure	
	Minuten	Stunden	Minuten	Stunden
1,6	45	0,75	150	2,5
1,5	120	2,0	180	3,0
1,4	150	2,5	180	3,0
1,3	180	3,0	210	3,5
1,2	210	3,5	240	4,0
1,1	240	4,0	270	4,5
1,0	300	5,0	300	5,0
0,9	360	6,0	360	6,0
0,8	450	7,5	450	7,5
0,7	570	9,5	570	9,5
0,6	720	12,0	720	12,0



Zur Berechnung dieser Sauerstoffexpositionszeit benötigen wir zunächst den maßgebenden Sauerstoffpartialdruck, den wir mit folgender Gleichung erhalten:

$$FG = PG / p \quad \text{Partialdruck} = \text{Gasanteil} \times \text{absoluten Druck}$$

Beispiel:

Wir planen einen Tauchgang auf 20 m Tiefe mit einem Setpoint von 1.2 pO₂.

Welche maximale Sauerstoffkonzentration erreichen wir bei diesem Tauchgang?

Wie lautet unser ZNS - Zeitlimit?

Zuerst ermitteln wir den Druck (p) in 20 m Tiefe.

Die dazu notwendige Formel lautet:

$$p = T + 1$$

$$p = 2 \text{ bar} + 1,0 \text{ bar} = 3 \text{ bar}$$

Dieser Wert wird dann in der Formel $pG = FG \times p$ eingesetzt.

$$\%O_2 = \frac{1,2 pO_2}{3 \text{ bar}} = 40\%$$

1,2 bar O₂ - Partialdruck ergeben laut der NOAA Tabelle eine maximale Expositionszeit von 210 Minuten.

Wir dürfen die Tauchzeit also nicht bis zu 210 Minuten ausdehnen, da wir keine ZNS - Belastung von 100 % riskieren wollen. Bei diesem Tauchgang liegt aber die Nullzeit (bedingt durch FN₂) nur bei 72 Minuten, deshalb darf der Tauchgang nur bei ausreichender Beachtung der Dekompressionspflicht länger als 72 Minuten durchgeführt werden.

Zur Bestimmung der ZNS – Belastung betrachten wir die nachstehende Tabelle 4. Bei einem pO₂ von 1,2 bar können wir einen ZNS – Faktor von 0,56 % pro Minute ablesen. Bei einer Gesamt - Tauchzeit von 72 Minuten erhalten wir dementsprechend eine ZNS – Belastung von 40,32 %.

$$ZNS = 0,47 \frac{\%}{\text{min}} \times 72 \text{ min}$$

$$ZNS = 33,84 \%$$



CNS O₂%-Tabelle (NOAA)

PO ₂ (in bar)	CNS O ₂ % (in %/min)	max. Tauchzeit (in min)	PO ₂ (in bar)	CNS O ₂ % (in %/min)	max. Tauchzeit (in min)
0,50	0,00		1,22	0,48	208
0,60	0,14	714	1,24	0,51	196
0,64	0,15	667	1,26	0,52	192
0,66	0,16	625	1,28	0,54	185
0,68	0,17	588	1,30	0,56	179
0,70	0,18	556	1,32	0,57	175
0,74	0,19	526	1,34	0,60	167
0,76	0,20	500	1,36	0,62	161
0,78	0,21	476	1,38	0,63	159
0,80	0,22	455	1,40	0,65	154
0,82	0,23	435	1,42	0,68	147
0,84	0,24	417	1,44	0,71	141
0,86	0,25	400	1,46	0,74	135
0,88	0,26	385	1,48	0,78	128
0,90	0,28	357	1,50	0,83	120
0,92	0,29	345	1,52	0,93	108
0,94	0,30	333	1,54	1,04	96
0,96	0,31	323	1,56	1,19	84
0,98	0,32	313	1,58	1,47	68
1,00	0,33	303	1,60	2,22	45
1,02	0,35	286	1,62	5,00	20
1,04	0,36	278	1,65	6,25	16
1,06	0,38	263	1,67	7,69	13
1,08	0,40	250	1,70	10,00	10
1,10	0,42	238	1,72	12,50	8
1,12	0,43	233	1,74	20,00	5
1,14	0,43	233	1,76	25,00	4
1,16	0,44	227	1,78	33,33	3
1,18	0,46	217	1,80	50,00	2
1,20	0,47	213	1,82	100,00	1

Tabelle 6

Zur Vereinfachung der Berechnung des pO₂ - Werts, können beide Formeln zusammengefasst werden:

$$pO_2 = FO_2 \times \left(\frac{\text{Tiefe}}{10} + 1 \right)$$

Beispiel:



Wir planen einen Tauchgang auf 25 m für eine Zeit von 60 Minuten. Unser Sauerstoffpartialdruck pO_2 ist 1.2 . Wie hoch ist unsere ZNS - Belastung?

Von diesem Wert wird in der ZNS - Tabelle die Sauerstoffbelastung
 ($0,47 \frac{\%}{\text{min}}$) abgelesen.

Nun muss dieser Wert mit der Tauchzeit multipliziert werden, um die Gesamtbelastung zu erhalten. Dabei sollte aus Sicherheitsgründen eine Aufstiegszeit (bei 10 m/min sind es in diesem Fall 2,5 Minuten; also 3 Minuten) hinzugezählt werden.

$$\begin{aligned} \text{ZNS}_{\text{Ges}} &= 60 \text{ min} + 3 \text{ min} = 63 \text{ min} \times 0,47 \text{ \%/min} \\ \text{ZNS}_{\text{Ges}} &= 29,61 \text{ \%} \end{aligned}$$

Zur Berechnung der ZNS %-Werte bei Wiederholungstauchgängen am gleichen Tag muss die ZNS – Belastung aus dem ersten Tauchgang, die während der Oberflächenpause wieder abgesunken ist, zu dem für den zweiten Tauchgang errechneten Wert hinzuaddiert werden. In der untenstehenden Tabelle sind die Erholungsfaktoren beschrieben, mit denen die restliche ZNS – Belastung errechnet werden kann.

ZNS – Erholungsfaktoren							
Oberflächenpause in Stunden	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30
Erholungsfaktor	0,80	0,63	0,50	0,40	0,31	0,25	0,20
Oberflächenpause in Stunden	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	9:00
Erholungsfaktor	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05	0,01

Tabelle 7

Beispiel: Wiederholungstauchgang

Nach unserem Tauchgang im vorangegangenen Beispiel machen wir nach einer Oberflächenpause von 2:00 Stunden einen weiteren Tauchgang auf 18 m Tiefe für die Dauer von 45 Minuten.

Unser Sauerstoffpartialdruck ist wieder $pO_2 = 1.2$.

Wie hoch ist die noch vorhandene ZNS - Belastung?

Berechne die erneute ZNS - Belastung, sowie die Gesamtbelastung nach diesem Tauchgang!



Gemäß unserer Tabelle ergeben 2:00 Std. Oberflächenpause einen ZNS - Erholungsfaktor von 0,40.

ZNS Rest	$29,16 \times 0,40$	= 11,85 %
p in 18m	$18 : 10 + 1$	= 2,8 bar
pO ₂		= 1,2 bar = 0,47 %
ZNS _{neu}	$(45+2)=47 \text{ min} \times 0,47\%$	= 22,09 %
ZNS _{gesamt}	$11,85 \% + 22,09 \%$	= 33,94 %

5.6. Berechnung der äquivalenten Lufttiefe EAD

Um für ein Nitroxgemisch die entsprechende Nullzeit berechnen zu können, muss zuerst die äquivalente Lufttiefe ermittelt werden. Mit der EAD (Equivalent Air Depth) kann danach in einer Nullzeit – Tabelle (z. B. Deco 2000) die entsprechende Nullzeit abgelesen werden.

Achtung!: Zur Berechnung der EAD muss immer der Prozentanteil des Stickstoffs im Atemkreislauf (FiN₂) verwendet werden.

Zur Ermittlung der Rechengröße FiN₂ soll die folgende Tabelle dienen. Durch die Annahme, der Stickstoffgehalt im Atemkreislauf steige allmählich höher als der, der in der Vorratsflasche vorhanden ist, dies ist z. B. möglich durch Auswaschen des Stickstoffs aus dem Körpergewebe, befinden wir uns somit bei der Nullzeitbestimmung immer auf der konservativeren Seite.

Mit dieser Gleichung kann dann die EAD bestimmt werden:

$$EAD = \left(\frac{FiN_2 \times (Tiefe + 10)}{0,79} \right) - 10$$

Beispiel:

Mit einem pO₂ von 1.2 wird ein Tauchgang auf 20 Meter geplant. Der im Atemkreislauf vorhandene Sauerstoff entspricht einem Nitrox 40

Die EAD errechnet sich wie folgt:



$$EAD = \left(\frac{0,60 \times (20 + 10)}{0,79} \right) - 10 = 12,78 \text{ m}$$

Dies bedeutet, dass wir bei einem Tauchgang mit einem pO₂ von 1.2 in 20 m Tiefe eine Nullzeit beachten müssen, die einem Tauchgang mit Luft in 14 Meter entspricht.

Zur Vereinfachung können die Werte aus folgender Tabelle herangezogen werden

%N ₂ in der jeweiligen Tiefe				
Tiefe (m)	pO ₂ 1,1 bar	%N ₂	pO ₂ 1,2 bar	%N ₂
3	85	15	92	8
5	73	27	80	10
6	69	31	75	25
9	58	42	63	37
12	50	50	55	45
15	44	56	48	52
20	36	64	40	60
25	31	49	34	66
30	27	73	30	70
35	24	76	26	74
40	22	78	24	76
45	20	80	22	78
50	18	82	20	80

Tabelle 8

5.7. Beispiel zur Berechnung der Nullzeit

Folgende 4 Faktoren haben Einfluss auf unsere Tauchzeit:

- Gasvorrat: Gasvorrat und gewählter Sauerstoffflow
- Atemkalk: Füllung maximal 2 Stunden
- Nullzeit: abhängig von FiN₂ - EAD
- ZNS – Zeitlimit: abhängig vom pO₂

Beispiel:

Wir planen einen Tauchgang im Roten Meer mit einem pO₂ von 1.2. auf 20 Meter. Dann haben wir einen „best mix“ von Nitrox 40.

Bei diesem Gemisch liegt der Stickstoffanteil im Atemkreislauf bei ca.60 %. Unsere EAD ist dabei 12,78 m, also gerundet 13 Meter.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Daraus ergibt sich nach der Nullzeitentabelle Deco 2000 eine Nullzeit von 72 min.

Gemäß der NOAA - Tabelle liegt das ZNS - Limit für den Tauchgang bei 210 min.

Der Gasvorrat von 170 l (30 bar Reserve pro Tank) würde bei einem Konstantflow von 0.8 l/min für 202 min ausreichen.

Die Atemkalkstandzeit für 20° C warmes Wasser beträgt 120 Minuten.

In diesem Fall wird die maximale Tauchzeit von der Nullzeit bestimmt, da wir keinen dekompensationspflichtigen Tauchgang durchführen wollen. Die maximale Tauchzeit beträgt somit 72 Minuten



5.8. Wiederholungsfragen

1. Was bedeutet Best Mix?

2. Nenne 3 Parameter, die bei Nitroxtauchgängen berücksichtigt werden müssen?

3. Nenne die Formel für Maximale Einsatztiefe MOD!

4. Was versteht man unter EAD?



6. Der Aufbau von Kreislaufgeräten

Tauchgeräte, die uns Menschen einen von der Oberfläche unabhängigen Aufenthalt unter Wasser ermöglichen, nennt man autonome Tauchgeräte. Diese werden heutzutage in drei Gruppen eingeteilt. Man unterscheidet dabei zwischen dem offenem System, den halbgeschlossenen und den geschlossenen Kreislaufgeräten.

Geschlossene Systeme werden vorzugsweise für militärische Aufgaben verwendet

Halbgeschlossene Systeme haben seit der Einführung des Dräger Atlantis 1 im Jahre 1995 Einzug in den Sporttauchbereich gefunden.

Im offenen System atmet der Sporttaucher über einen Lungenautomaten aus einer Vorratsflasche. Die komprimierte Atemluft wird über mindestens einen Druckminderer bis auf den Umgebungsdruck entspannt und eingeatmet. Bei jedem Einatmen erhält der Taucher frisches Gas aus der Druckluftflasche und beim Ausatmen wird das Gas an die Umgebung abgegeben.

Dies ist jedoch ein wichtiger Unterschied zum Tauchen mit Kreislaufgeräten. Bei Kreislaufgeräten wird der größte Teil des ausgeatmeten Gases wieder eingeatmet. Das Gas „kreiselt“ im Atemkreislauf.

6.1. Das Prinzip des Atemkreislaufs

Im Atemkreislauf wird unter Umgebungsdruckverhältnissen das Atemgas zum Einatmen bereitgestellt und nach dem Ausatmen regeneriert. Die Ausatemluft, die ca. 17% Sauerstoff, 78% Stickstoff und 4% Kohlendioxid enthält, wird also wieder in den Kreislauf zurückgeführt. Die 17 % Sauerstoff reichen gerade aus, um unseren Organismus mit noch genügend Sauerstoff zu versorgen, denn der Stoffwechselfvorgang in den Zellen funktioniert nur bei ausreichender Aufnahme von Sauerstoff. Unser Organismus produziert bei diesem Vorgang ungefähr genauso viel Kohlendioxid, wie Sauerstoff verbraucht wird (pro Liter Sauerstoff ca. 0,9 Liter Kohlendioxid, bei normaler ruhiger Atmung).

EINATEMLUFT		AUSATEMLUFT	
Stickstoff N ₂	78 %	Stickstoff N ₂	78 %
Sauerstoff O ₂	21 %	Sauerstoff O ₂	17 %
Kohlendioxid CO ₂	0 %	Kohlendioxid CO ₂	4 %
Restgase	1 %	Restgase	1 %

Beim Tauchen mit Kreislauftauchgerät wird das Ausatemgas in den Kreislauf zurückgeatmet, das Verbrennungsprodukt CO₂ wird chemisch gebunden

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



(entfernt) und der verbrauchte Sauerstoff wird aus einem Druckgasbehälter nachgefüllt. Das so aufbereitete Gas kann wieder eingeatmet werden.

Damit überhaupt in das Kreislauf-Tauchgerät zurückgeatmet werden kann, darf der Kreislauf nicht starr aufgebaut sein, sondern er muss ein flexibles Volumen besitzen.

Erreicht wird dies durch die Gegenlunge, ein Beutel oder Faltenbalg, der die Volumenänderungen der Lunge ausgleicht. Während des Einatmens fällt die Gegenlunge in sich zusammen, beim Ausatmen wird sie wieder aufgeblasen. Über den Einatemschlauch und das Mundstück wird aus der Gegenlunge eingeatmet. Das Ausatemgas wird durch den Ausatemschlauch in den Atemkalkbehälter (Kanister) geleitet. Im darin befindlichen Atemkalk wird das Stoffwechselprodukt Kohlendioxid (CO₂) aus dem Atemgas entfernt. Um den Kreislauf zu schließen ist der Atemkalkbehälter mit der Gegenlunge verbunden. Richtungsventile am Mundstück sorgen dafür, dass nur aus dem Atembeutel eingeatmet werden kann und dass das Ausatemgas durch den Atemkalk geleitet wird. Ein längeres Wiedereinatmen dieses Kohlendioxids hätte zwangsläufig eine Kohlendioxidvergiftung (Hyperkapnie) zur Folge, deshalb muss mit Hilfe einer chemischen Reaktion das Kohlendioxid vor dem Wiedereinatmen aus unserem Atemgas absorbiert werden.

Des Weiteren ist das Mundstück mit einem Walzenventil (oder einem ähnlichen Ventil) versehen, das verhindert, dass Wasser in den Kreislauf eindringt, wenn das Mundstück nicht im Mund ist. Denn Wasser und Atemkalk bilden eine Lauge (Cocktail), welche die Atemwege und die Lunge verätzen können. Geringe Mengen an Wasser kann das Kreislaufgerät verkräften. Üblicherweise sind Wasserfallen integriert, die etwas Wasser vom Atemkalk fernhalten. Auch der Atemkalk kann geringe Mengen an Wasser aufsaugen, doch dann wird seine Fähigkeit, das CO₂ aus dem Atemgas zu entfernen, vermindert.

Die chemische Reaktion, die das Kohlendioxid aus dem Atemgas entfernt, erzeugt Wärme und Wasser. Beides ist für den Wärmehaushalt des Tauchers gut. Beim Tauchen mit offenem System muss das Einatemgas auf 37°C angewärmt und auf 100% relative Luftfeuchte befeuchtet werden. Diese beiden, sehr wärmeintensiven Vorgänge entfallen weitgehend beim Kreislauf-Tauchen.

Da beim Kreislauf-Tauchen nur wenig Gas ins Wasser abgegeben wird, gibt es nur wenig Blasen und somit auch wenig Geräusche. Denn wie laut das Blubbern ist, wird einem erst dann bewusst, wenn man den direkten Vergleich hat: Mit Blasen (offenes System) und ohne Blasen (Kreislauf-Tauchen).

Das Atmen an Land ist ruhig, flach und gleichmäßig. Anders das Atmen aus dem offenen Tauchsystem: Es wird deutlich tiefer ein- und ausgeatmet, dazwischen wird noch eine kleine Pause eingelegt. Das Atmen aus dem Kreislauf-Tauchgerät ähnelt dem natürlichen Atmen an Land.

Da in den Kreislauf (Atembeutel) ausgeatmet wird, verändert sich der Auftrieb während des Atmens nicht. Es kann also nicht mit der Lunge tariert werden.

Andererseits ist es auch angenehm, wenn man, z.B. beim Fotografieren, nicht den Atem anhalten muss, um die gleiche Höhe (Tiefe) zu halten.



7. Gerätebeschreibung TR300c

7.1. Modellkennzeichen

TR300c

7.2. System:

- 1 Gehäuse PVC
- 1 Atemkalkbehälter mit Kopfteil, Bypassventil, Sensorraum und Boden
- 1 2 Atembeutel (Gegenlunge, einer mit Überdruckventil)
- 1 Atemschlauch (Dräger Ray)



Abb. 1 TR300c Komplett

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



7.3. Wichtige Merkmale

- System: Complete Closed Rebreather (CCR)
- Gehäuse: PVC rund 180mm Durchmesser
- Gasversorgung : 2x3 Liter, 100% O₂ und Verdünnungsgas (Diluent) Air oder Trimix. (Flaschen, Druckminderer, Finimeter und Bailoutautomat nicht im Lieferumfang)
- CO₂ Absorber: Plexiglasbehälter max. Fassungsvermögen 3 kg. Durch Verwendung von Plexiglas ist es möglich die Kalksättigung zu kontrollieren. Da die Verfärbung des Kalks nach längerer Standzeit zurückgeht, ist es bei Verwendung von Spherasorb Atemkalk, unbedingt nötig dies nach jedem Tauchgang zu kontrollieren! Ansonsten droht CO₂ Vergiftung, Tod! Bei Verwendung anderer Kalksorten kann keine Angabe zu Standzeiten und Verbrauchseigenschaften gemacht werden.
- Zwischenfilter: 2 Edelstahl Filterscheiben sorgen für gleichmäßige Durchströmung des Atemkalks, ohne negative Auswirkung auf den Atemwiderstand.
- Atembeutel aus PE-Folie mit Neoprenschutz.
- Bypassventil: Über ein umgebungsdruckautomatisches Bypassventil wird Frischgas (Diluent) in das Gerät eingespeist. Außerdem befindet sich am Bypassventil eine Einspeisung für den konstant Flow.
- konstant Flow (mCCR): Hydrogom.

7.4. Verwendungszweck

Der TR300c ist ein Demonstrationsgerät über den Aufbau von Kreislaufgeräten. Am TR300c kann die Funktionsweise eines Kreislaufgerätes für Ausbildung oder Präsentationen aufgezeigt werden.

Der TR300c ist NICHT als Tauchgerät zugelassen! (KEINE CE/EN250 Zulassung !)

Fehler in Anwendung und Gebrauch führen zu schweren Verletzungen oder zum Tod !



7.5. Aufbau des Gerätes

Der TR300c ist modular aufgebaut. Alle Bauteile sind leicht auswechselbar. Ein falscher Zusammenbau ist durch unterschiedliche Anschlüsse und farbliche Kennzeichnungen ausgeschlossen.

7.5.1. Gehäuse

Das Gehäuse besteht aus einem PVC Rohr mit 180mm Durchmesser und ist 33cm hoch. Am Gehäuse ist noch Fußteil angebracht, dessen Höhe vom Taucher bestimmt wird. Das Gehäuse wiegt leer ca. 1.2 kg
Am Gehäuse sind die zwei Anschlüsse für die Gegenlungen angebracht.



7.5.2. Flaschen

Im Lieferumfang sind keine Atemgasflaschen enthalten. Es können aber zur Funktionsanzeige 2x3 Liter Atemgasflaschen angebracht werden.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



7.5.3. Druckminderer

Im Lieferumfang sind keine Druckminderer enthalten. Es könnten aber zur Funktionsanzeige handelsübliche für den jeweiligen Sauerstoffgehalt zugelassene Druckminderer angebracht werden.

7.5.4. Bypass

Um den Kreislauf schnell füllen zu können ist ein Umgebungsdruck abhängiges Membranventil eingebaut. Für die konstant Flow Atemgas Zuführung ist ein entsprechender Gasanschluss vorgesehen. Der Bypass ist oben am Kopf angebracht und versorgt die Einatemseite.



Abb. Bypass



7.5.5. Kalkbehälter

Der Kalkbehälter beim TR300c besteht aus Plexiglas und einen Durchmesser von 15cm und eine Länge von 25cm.

Im inneren sind zwei Edelstahl Filterscheiben eingesetzt, die so gewählt wurden das der Atemwiderstand sehr gering ist. Die Filterscheiben werden durch eine zentrale Gewindestange fixiert, damit der Atemkalk unter mechanischem Druck bleibt und somit ein Tunneln unterdrückt wird sind am Kalkbehälter Verschluss 3 Federn angebracht. Zur Montage wird zuerst die untere Filterscheibe eingesetzt, dann wird der Kalk eingefüllt (Füllhöhe unbedingt beachten !). Abschließend wird die obere Filterscheibe eingesetzt und mit der Rändelmutter festgeschraubt.



Abb.: Atemkalkbehälter fertig



Abb. Atemkalkbehälter in Teilen



Abb. Einsetzen der Gewindestange, Aufsetzen des Kopfsiebes, fertiger Kalkbehälter



7.5.6. Die Frischgasversorgung

Hierbei unterscheidet man verschiedene Möglichkeiten: eine manuelle, eine konstante und die lungenautomatische Frischgasversorgung.

7.5.6.1. Manuelle Frischgasversorgung (Sauerstoff)

Hierbei wird der mitgeführte Sauerstoff vom Taucher selbst je nach Bedarf zugeführt, unerlässlich ist hier eine fundierte Ausbildung und die permanente Kontrolle des geatmeten Gemischs (Gefahr einer O₂ - Unterversorgung!).

7.5.6.2. Konstante Frischgasversorgung (Sauerstoff)

Hierbei strömt über einstellbare oder feste Düsen während des Tauchgangs gleichmäßig frisches Gas ins System. Der einzustellende Wert dieses Konstant - Flows ist abhängig vom Sauerstoffverbrauch. Der Gasfluss muss so eingestellt sein, dass die zufließende Sauerstoffmenge selbst beim größten anzunehmenden Sauerstoffverbrauch und geringer Tiefe den physiologisch minimal erforderlichen Sauerstoffpartialdruck von 0,16 bar gewährleistet. Da ein normaler Mensch je nach Arbeitsleistung ca. 0,3 - 2,5 l O₂/Minute benötigt, strömt also die meiste Zeit zuwenig Gas in den Kreislauf und muss dann über das Sauerstoffventil manuell zugeführt werden.

Beispiele: KISS, TR300c

Solcherart konstruierte Geräte sollten immer eingeschaltet werden sobald der Taucher aus dem Gerät atmet, da es sonst zu einer Hypoxie (Sauerstoffunterversorgung) kommt.

7.5.6.3. Lungenautomatische Frischgasversorgung- ADV (Diluent)

Die lungenautomatische Frischgasversorgung wird meistens zusätzlich zu einer Konstantdosierung verwendet. Es handelt sich hierbei um einen im System installierten Druckminderer, ähnlich einer zweiten Stufe eines herkömmlichen Atemreglers, der bei Druckabfall im System (Faltenbalg) zusätzliches Frischgas in den Atemkreislauf einspeist. Dies kann während der Atmung beim zügigem Abtauchen notwendig werden oder bei Gasverlust durch Ausblasen der Maske. Auch bei einem eventuell notwendigen Spülvorgang wird das neue Gas über diesen Weg in den Atemkreislauf geleitet.

Für die Erzeugung des konstanten Flows kann beim TR300c ein entsprechendes KISS-Style Ventil verwendet werden. Der Sauerstoff Gasfluss sollte ca. 0.8 Liter/Minute betragen. Im Ruhezustand des Tauchers sollte der Sauerstoffpartialdruck im System nicht ansteigen.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Abb. Beispiel Hydrogom Ventil (Bild © Tecme)

Wichtig wäre noch, es zu erwähnen, dass diese verschiedenen Varianten der Frischgasversorgung sich nicht gegenseitig ausschließen. Die meisten Kreislaufgeräte besitzen gleich mehrere Möglichkeiten der Frischgasversorgung.

Bei den geschlossenen Kreislaufgeräten ist die Frischgasversorgung mit der Maßgabe konstruiert, dass möglichst kein überschüssiges Atemgas während des Atemvorgangs anfallen kann. Bedingt jedoch durch das Auswaschen des gelösten Stickstoffs in den körpereigenen Geweben erhöht sich im Laufe des Tauchgangs der Stickstoffanteil im Atemgas. Um zu verhindern, dass der dadurch sinkende Sauerstoffanteil zu sehr vom angestrebten Optimum abweicht, muss der Atemkreislauf regelmäßig komplett gespült werden. Dies kann je nach dem verwendeten Gerät vollautomatisch oder manuell erfolgen.



7.5.7. Sauerstoffsensoren

Damit der Sauerstoffgehalt im Atemkreislauf bestimmt werden kann, sind insgesamt drei Sauerstoffsensoren auf der Einatemseite untergebracht. Dadurch wird genau die Sauerstoffkonzentration gemessen, welche auch eingeatmet wird.



7.5.8. Sauerstoffmonitor

Zum Betrieb eines CCR Kreislaufgerätes ist eine mehrfach redundante Sauerstoffüberwachung notwendig. Es müssen mindestens zwei Sauerstoffsensoren verwendet werden. Wir empfehlen eine 3 fache Überwachung.



Abb. 3 fach Monitor mit Tauchcomputer

7.5.9. Gegenlunge

Die Gegenlunge besteht aus zwei Atembeuteln aus reißfestem PE. Ein Atembeutel hat zusätzlich noch das Überdruck Ventil integriert. Die Atembeutel sind durch einen Neoprenschutz gegen mechanische Beschädigung geschützt.



Abb. Atembeutel mit Anschluss

Holger Berghäuser
Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Abb. Atembeutel mit Überdruckventil auf der Rückseite



Abb. Atembeutel in Neoprentasche



Abb. Atembeutel Fixierung am TR300c Behälter



Abb. Atembeutel fertig am TR300c Gehäuse

7.5.10. Atemschlauch

Der Atemschlauch besteht aus dem Einatemschlauch, dem Ventilmundstück und dem Ausatemschlauch. Der Atemschlauch wird am TR300c Kopf mittels Steckanschluss und Haltemutter angebracht.

7.5.11. Überdruckventil

Das „fest“ eingestellte Überdruckventil ist in einem Atembeutel befestigt. Das Ventil öffnet bei einem Überdruck von ca. 25-30 cm Wassersäule.





Abb. Überdruckventil geöffnet. Der Ansprechdruck kann durch ziehen (höherer Ansprechdruck) oder stauchen (niedrigerer Ansprechdruck) der Feder verändert werden.

7.5.12. Wiederholungsfragen

1. Welche Bestandteile hat die Ausatemluft eines Tauchers?

2. Was kann passieren, wenn ein besonders geiziger Taucher seinen Atemkalk über die Standzeit hinaus nutzen will?

3. Welche Funktion hat das Überdruckventil?

4. Was sollte ein Taucher, der einen Rebreather mit Konstantdosierung benutzt, direkt vor und nach dem Tauchgang beachten?

5. Was für ein Druck herrscht beim Tauchen im Atemkalkbehälter?

8. Funktionsbeschreibung

Der TR300c wird aus zwei Gasvorratsflaschen versorgt. Dieses Mischgas strömt bei geöffneten Ventilen zu dem/den Druckminderer/en die es auf einen konstanten Arbeitsdruck mindern. Bei der Sauerstoff Gasvorratsflasche wird es dem Dosierventil direkt zugeführt. Die zweite Gasvorratsflasche (Diluent) wird das Gasgemisch dem automatischen Bypass zugeführt.

Der zugeführte Sauerstoff sollte so eingestellt werden (ca. 0,8 l/min) das in Ruhe der Sauerstoff Partialdruck nicht ansteigt und nur leicht fällt (ca 0,1 pPO₂ pro 5 Minuten)

In der Ausatemphase wird das Ausatemgas über das Mundstück und den Ausatemschlauch zum TR300c und zum Ausatembeutel geführt.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Dann strömt das verbrauchte Atemgas durch den Atemkalkbehälter und wird vom CO₂ gereinigt, und auf der Einatemseite wird dann der Sauerstoff zugeführt.

Das aufbereitete Gasmischungs wird über den Einatembereich und den Einatemschlauch zum Mundstück geführt.

Der Kalkbehälter ist wieder auffüllbar und hat die Aufgabe das mit CO₂ verunreinigte Ausatemgas zu reinigen, bevor es wieder in den Einatemschlauch gelangt.

Gesteuert wird die Kreislaufrichtung durch die dicht am Mundstück angebrachten Steuerventile.

Eine einwandfreie Funktion der Steuerventile ist für eine gefahrlose Demonstration unbedingt erforderlich.

Parallel zur eingestellten Dosierung ist im Bypass ein Umgebungsdruck abhängig Mischgasventil für Zusatzdosierung angeordnet.

Beim Ansprechen des Zusatzventils strömt eine große Menge Verdünnungsgas in den Gerätekreislauf, wie es zum Beispiel zum Auffüllen des Kreislaufes bei sehr schnellem Abtauchen erforderlich werden könnte.

Da in der „normalen“ Tauchphase kein überschüssiges Gas aus dem Gerätekreislauf entweicht, nennt man dieses System auch geschlossenes System

Das Überdruckventil ist in einer der Ausatemgegenlungen angebracht. Es entweicht daher nur CO₂ angereichertes Atemgas aus dem Gerät



8.1.1. Sauerstoffdosierung und Verdünnungsgas

8.1.1.1. Sauerstoffdosierung

Zum Aufrechterhalten des menschlichen Stoffwechsels benötigt der Körper eine gewisse Menge an Sauerstoffmolekülen. Die Sauerstoffmoleküle binden sich beim Gasaustausch an das Hämoglobin. Da sich in der Lunge pro Zeiteinheit immer nur eine endliche Menge Hämoglobin zur Aufnahme von Sauerstoff befindet ist nicht der Sauerstoffpartialdruck sondern nur die Anzahl von Sauerstoffmolekülen entscheidend.

Mit dem Begriff einer bestimmten Menge ist nicht das Volumen, sondern eine bestimmte Anzahl von Molekülen, also die Masse an O_2 gemeint. (WICHTIG) Bezogen auf die Meeresoberfläche (1 bar Umgebungsdruck) liegt dieser Wert bei etwa 0,7 bis 0,9 Litern O_2 für normale bis leichte Anstrengung.

Auf einer Tiefe von 10 Metern (2 bar Umgebungsdruck) bräuchte man nun dieselbe Anzahl (Masse) von O_2 Molekülen, also nur das halbe Volumen, welches natürlich nun die doppelte Dichte hat, da dieselbe Anzahl Moleküle auf halben Raum vorhanden ist.

Die benötigte Menge an O_2 muss konstant und tiefenunabhängig ins System eingespeist werden. Und zwar die Masse, nicht das Volumen!

Dazu verwendet man erste Stufe mit einem festen, tiefenunabhängigen Mitteldruck (ca 10-13 bar) und eine Düse mit einem Durchmesser von ca. 0,07 bis 0,08 mm. Diese Kombination ergibt einen konstanten tiefenunabhängigen Flow von ca 0,8 Litern. Selbstverständlich müssen die exakten Werte eingestellt und geprüft werden.

Eine „normale“ erste Stufe, die neben ihrem Mitteldruck den Umgebungsdruck misst würde mit zunehmender Tiefe zu einem größeren Flow führen. Daher muss eine geschlossene erste Stufe verwendet werden, die nur den vorgegeben Mitteldruck über die gesamte Tiefe liefert.

Im Übrigen gelten hierbei dieselben Einschränkungen wie bei allen Geräten mit festem Mitteldruck und fester Düse. Der konstante Massenfluss reist ab wenn das Gas nicht mehr mit Schallgeschwindigkeit durch die Düse strömt. Dies tritt ein wenn der Druck vor der Düse (von der ersten Stufe kommend) nicht mindestens 2-fach höher ist als der Druck hinter der Düse also im Gerät (dem Umgebungsdruck).

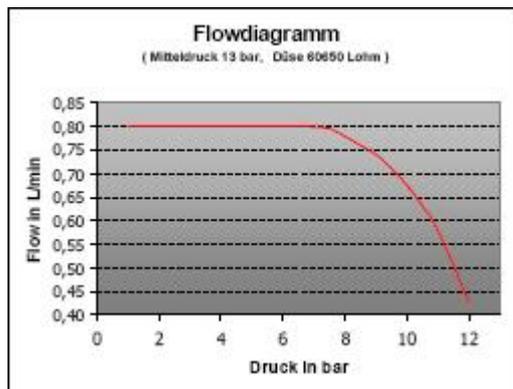


Abb. Flowdiagramm

Eine erste Stufe mit einem festen Mitteldruck von 12 bar wäre also theoretisch einsetzbar bis ca. 50 Meter Wassertiefe (6 bar). Der P_{in}/P_{out} muss also größer als 2 sein. Darunter reißt der konstante Massenfluss ab und der Flow fällt ab was unweigerlich zum Absinken des ppO_2 im Atemkreislauf führt.

Anhand der Grafik wird deutlich, dass der konstante Flow bei knapp 7 bar abbricht um anschließend schnell zu fallen. Die sicherere Einsatztiefe dieser Kombination von Mitteldruck/Düse liegt also bei maximal 60 Metern Wassertiefe. Einsatz Tiefen von mehr als 60 Metern erfordern immer einen Mitteldruck von 15 oder mehr bar, selbstverständlich in Kombination mit der entsprechenden Düse.

mCCR Geräte sind also abhängig vom eingestellten Mitteldruck in Relation zur verwendeten Düse nur bis zu Tauchtiefen von maximal 40-60 Metern einfach und sicher einsetzbar.

Abgesehen davon müssen ab Mitteldrücken von ca. 15-16 bar sehr spezielle 1. Stufen (Druckminderer) verwendet werden.

Da meist mit Luft als Diluent und Sauerstoff als konstant Flow getaucht wird, ergibt eine kurze Rechnung, dass bei einem eingestellten ppO_2 von 1,3 die Zusammensetzung im Atemkreislauf bei 50m Wassertiefe in etwa der von Luft entspricht:

$$1,2 \text{ bar (O}_2\text{)} / 6 \text{ bar (Umgebungsdruck bei 50m)} = 20,66\% \text{ O}_2 \text{ im Loop.}$$

$$1,3 \text{ bar (O}_2\text{)} / 6 \text{ bar (Umgebungsdruck bei 50m)} = 21,66\% \text{ O}_2 \text{ im Loop}$$

8.1.1.2. Verdünnungsgas

Es können im TR300c alle Mischgase als Verdünnungsgas (Diluent) eingesetzt werden. Es ist im weiteren nur zu beachten, dass das jeweilige Gemisch im Kreislauf weder Hyperoxisch noch Hypoxisch wirkt. Bei der Wahl des Diluent sollte zudem darauf geachtet werden, dass der pO_2 des Diluent



in der vorgesehenen Tauchtiefe mindestens 0.2 pO₂ **unter** dem gewählten Setpoint liegt.

Eine Einsatztiefe von maximal 50-55 Metern ist mit mCCR Geräten also zu empfehlen. In dieser Tiefe entspricht dem geatmeten Gemisch nahezu normale Atemluft. Neben der großen Gefahr der Stickstoffnarkose ergeben sich natürlich auch sehr kurze Nullzeitgrenzen auf dieser Tiefe (ähnlich von Luft).

Da die verbrauchten Atemgasmengen in einem CCR Kreislaufgerät sehr gering sind, empfiehlt sich der Einsatz von mit Helium angereicherter Luft schon ab einer Tauchtiefe von mehr als 30m. Hierzu können sehr gut erprobte Standardgemische verwendet werden.

Standard Mischgase (für Diluent)

Tiefe in MSW	Mischgas	Max. pO ₂
3 - 24	EAN32 (EAN21)	1.08 (0.72)
	30/30	Nicht verwenden
24 – 40	21/35	1.05
	18/45	Nicht verwenden
40 – 60	15/55	1.05
60 - 95	10/70	1.05

Tabelle Standardgemische (GUE)

Deco Mischgas (für Bailout)

Tiefe in MSW	Mischgas
6	100%
21	50% oder 50/20
36	35/25
57	21/35

Tabelle Standardgemische (GUE)

Wobei vorweg gesagt, die Dekompressionszeiten natürlich trotzdem erheblich kürzer sind, denn sobald die Tiefe verlassen wird und der ppO₂ weiterhin auf 1,2 bar gehalten wird, steigt ja in flacheren Tiefen der O₂ Anteil im Atemgas stetig an, so das wesentlich früher und effektiver mit der Dekompression bekommen werden kann. Es findet also beim Auftauchen eine stetige Dekompression statt, da der O₂ Anteil im Loop wird abnehmender Tiefe zunimmt. Dazu später aber mehr.

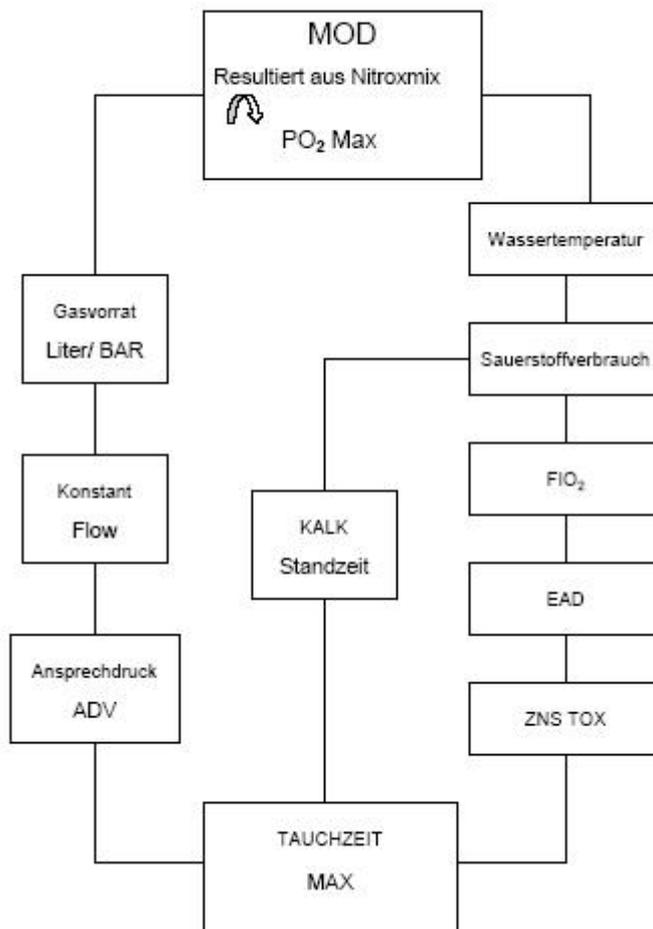


9. Das Tauchen mit dem TR300c

9.1. TG- Planung

Zur Tauchgangsplanung müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden.

- Einsatztiefe MOD
- Best MIX
- Max pO_2
- Konstant Flow Düse
- Standzeit Atemkalk
- Gasvorrat
- EAD und evtl. Nullzeit
- ZNS - Belastung





Vor Beginn der Tauchgangsplanung muss die geplante Tiefe bekannt sein. Je nach der geplanten Tiefe wird das entsprechende Gasgemisch (Diluent) ausgewählt.

Bei einer 1 Liter Sauerstoffvorratsflasche und einem Sauerstoffflow von 0.8 Liter/min ergibt sich ein theoretischer Einsatzzeitraum von

$$TZ_{\min} = \left(\frac{1 \text{ Liter} * 200 \text{ bar}}{0.8 \text{ Liter} / \text{min}} \right) = 250 \text{ min}$$

9.2. Berechnung des FiO_2 (O_2 -Anteil im Atemkreislauf)

Der entscheidende Faktor ist der tatsächlich im Atemkreislauf vorhandene Sauerstoffanteil, der Rückschlüsse auf den im Atemkreislauf vorhandenen Stickstoffanteil (FiN_2). Er ist maßgeblich für unsere Dekompressionsberechnung.

Der FiO_2 darf nicht unter 17 % liegen (Gefahr einer Hypoxie) und sollte über 21 % liegen, da sich sonst eine Dekompressionspflicht ergäbe, die über der eines Lufttauchgangs läge. Bei der Berechnung der EAD würden wir eine tiefere Tiefe erhalten, als wir eigentlich durchführen wollten, es wäre also unsinnig.

Die Bestimmung des FiO_2 kann eigentlich im Voraus nie ganz genau durchgeführt werden, da dieser Wert von vielen Faktoren beeinflusst wird. Deshalb wird in der Tauchgangsplanung immer versucht, aus den bekannten Ausgangsgrößen einen ungefähren Näherungswert zu bestimmen. Die uns bekannten Größen sind:

- der Partialdruck im Atemkreislauf (pO_2)

Auch bei strikter Vermeidung von Jo-Jo-Tauchgangsprofilen und zu schnellen Aufstiegen darf der Verlust von Gas über das Überdruckventil bei der Berechnung des Partialdrucks (pO_2) nicht vernachlässigt werden. Bei richtiger Einstellung des Partialdrucks und ständiger Überwachung und Nachdosierung kann für die Berechnung ein Wert zwischen 1.1 und 1.2 angenommen werden. Wir rechnen daher mit einem Wert von 1.15 (bei einem gewählten Setpoint von max. 1,2 pO_2)

Beispiel:

Wie hoch ist der Sauerstoffanteil im Atemkreislauf, wenn bei einem Tauchgang ein pO_2 von 1.15 bar in 20m Tiefe herrscht ?



$$\%O_2 = \frac{pO_2}{(Tiefe/10) + 1} = 38\%$$

Nach dem US Navy Manual (Revision 4.20.Januar 1999) entspricht ein Sauerstoffverbrauch von 1,7 l/min schwerer Arbeit und ein Sauerstoffverbrauch von 2,5 l/min einer extrem schweren Arbeitsleistung unter Wasser. Eine mittlere körperliche Leistung liegt bei Sauerstoffverbräuchen von zwischen 0,8-1,4 l/min.

Reduziert man die Testbedingungen auf einen Sauerstoffverbrauch von 1,33 l/min, simuliert man damit eine mittlere Leistung, die der Taucher permanent unter Wasser erbringen kann.

9.3. Vorbereitung vor dem Gebrauch

9.3.1. Mischgas

Entsprechend des vorgeschriebenen Tauchtiefenbereichs ist das richtige Mischgas bereitzustellen

Es ist auf genauen Fülldruck und O₂ Anteil der Mischgasfüllungen zu achten. Besonders bei Verwendung von zwei Mischgasen (Verwechslungsgefahr)

9.3.2. Flaschen

Die Mischgasflaschen werden links und rechts am Trägerrohr (Gehäuse) mit den Spanngurten befestigt.

- schraube den Druckminderer vorsichtig von Flaschenventil ab. Bei den Mischgasflasche ist eventuell noch ein Adapter zwischen Ventil und Druckminderer
- nehme die Druckgasflasche vorsichtig ab. Die Flaschen sind mit einem Flaschenband am Gehäuse fixiert und können nach öffnen des Bandes nach unten oder oben herausgezogen werden.
- Lasse die Verdünnungsgasflasche (Diluent) mit dem entsprechenden Gemisch befüllen.
- Baue die Flaschen wieder in der richtigen Position an. Das Flaschenband muss gut schließen und die Diluent und Sauerstoff Aufkleber müssen lesbar sein.
- Schraube die Druckminderer wieder an die Mischgasflaschenventile an. Achte auf den Adapter !. Alles Handfest anziehen !
- Kontrolliere nochmals die richtige Druckflaschen Anordnung. Sauerstoff rechts, Diluent links !
- Prüfe durch vorsichtiges aufdrehen der Druckflaschenventile ob alles dicht ist



9.3.3. Druckminderer

Es kommen Druckminderer aus dem Sporttauchbereich zum Einsatz. Für die konstant Dosierung sollte der Druckminderer keinen Tauchtiefen abhängigen Anstieg des Mitteldrucks haben. Dazu muss der Druckminderer modifiziert werden. Modifizierte Druckminderer sollten gut gekennzeichnet werden und verlieren durch die Modifikation ihre Zulassung (CE/EN250) !

Es können auch unmodifizierte Druckminderer eingesetzt werden es kommt dabei mit zunehmender Tiefe zu einer höheren Dosierung. Der zusätzliche Verbrauch sowie der höhere Sauerstoffgehalt im Kreislauf muss in der Tauchgangsplanung berücksichtigt werden.

Die Gasflaschen und Automaten befinden sich zur linken und rechten des Grundgerätes.

9.3.4. Dosierung

Die korrekte Einstellung der Dosierung wird beim Submatix Booster PRO am Nadelventil, beim Hydrogom über den Mitteldruck der ersten Stufe vorgenommen. Die Einstellung wird mittels eines Durchflussmessers unmittelbar vor dem Tauchgang kontrolliert.

- Prüfgerät in die Öffnung der Dosiereinheit (Bypass) des TR300c einstecken.
- Den Durchflussmesser lotrecht aufstellen.
- Ventil an der Sauerstoffflasche öffnen.
- Wert am Durchflussmesser ablesen und Dosierung einstellen



Bild Flowmeter



9.3.5. Kalkbehälter

Der Kalkbehälter ist durchsichtig um die Farbveränderung des Atemkalks (Spherasorb) zu sehen. Der Spherasorb Atemkalk verfärbt sich zunehmend lila bei Aufsättigung mit CO₂. Die Filterscheiben sollten immer in der gezeigten Anordnung im Atemkalkbehälter eingebracht werden. Die Reinigung und Desinfektion der Filterscheiben ist ebenfalls wichtig und sollte sehr regelmäßig durchgeführt werden. Die Bodenplatte sollte immer handfest angezogen und verschlossen werden. Achte auch auf korrekten und sauberen Sitz der O-Ringe.

Um den Atemkalkbehälter (neu) zu befüllen befolge folgenden Ablauf:

- Schraube den Mitteldruckschlauch vom Bypass vorsichtig ab.
- Entferne den Sauerstoffschlauch (Bajonettverschluss) vom Kopf
- Lasse die Haltemutter des Atemschlauches am Kopf
- Öffne den TR300c.
- Hebe den Kalkbehälter vorsichtig heraus



- Lasse die Rändelmutter und nimm das obere Sieb heraus.



- Fülle nun etwa den halben Behälter mit Atemkalk und drücke den Atemkalk etwas fest.



- fülle nun die zweite Hälfte des Behälters

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



- lege nun die Filterscheibe ein und drücke nochmals den Atemkalk fest. Durch festziehen der Filterscheibe mit der Rändelschraube wird der Atemkalk verdichtet, Kalk durch schlagen mit der Hand auf den Kalkbehälter verdichten, Rändelschraube nachspannen. (ca. 3-5 mal)

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



- setze den Kopf wieder in das Gehäuse ein. Achte darauf, das der äußere O-Ringe gut schließt



- Hacke die Edelstahlspanner wieder fest.

Holger Berghäuser
Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



- Schraube den Bypass Mitteldruckschlauch wieder an.



- Stecke den Sauerstoffschlauch wieder auf



- Schließe den Atemschlauch wieder an

Alle Verschraubungen immer nur „Handfest“ anziehen

9.3.6. **Atembeutel**

Die Atembeutel sind vor jedem Gebrauch optisch auf Risse oder Beschädigungen zu prüfen. An den Anschlüssen sind die O-Ringe zu prüfen und regelmäßig zu fetten. Alle Verschraubungen müssen fest und gesichert sein !

- Entferne das Halteband am Fuß des Gehäuse aus den Klipphaltern
- Die Atembeutel sind am Gehäuse eingesteckt. Einfach den P-Con durch drücken des Löseknopfes abziehen.



- nehme die Atembeutel aus den Neoprenhüllen heraus.
- Prüfe auf Wassermengen im Atembeutel
- Prüfe die O-Dichtringe
- Befestige den Atembeutel wieder am Gehäuse durch aufstecken der P-Con's
- Befestige das Halteband am Fuß des Gehäuse in den Klipphaltern

9.3.7. Doppelatemschlauch

Die Funktion der Steuerventile ist am Ein-(grüne Markierung) und Ausatemschlauch (rote Markierung) einzeln zu überprüfen.

Beim Durchblasen in der vorgeschriebenen Flussrichtung muss sich das Steuerventil leicht öffnen, beim Ansaugen darf keine Luft nachströmen.

Die richtige Funktion der Steuerventile ist für ein gefahrloses Tauchen unerlässlich. Den Doppelschlauch entsprechend der farblichen Markierung montieren. Auf die Dichtscheiben achten !

9.3.8. Überdruckventil

Der Taucher hat die Möglichkeit das Überdruckventil auf einen für ihn angenehmen Abblasedruck einzustellen.

Durch die Einstellung lassen sich die Atemwiderstände des TR300c in gewissen Grenzen beeinflussen.

Die Atemwiderstände sind am geringsten, wenn der Abblasedruck des Überdruckventils dem hydrostatischen Wasserdruck zwischen dem Atemzentrum und der Position des Ü-Ventiles entspricht. Da dieser hydrostatische Wasserdruck von der jeweiligen Schwimmlage des Tauchers abhängig ist, sollte das Überdruckventil entsprechend der häufigsten Schwimmlage eingestellt werden.

9.3.9. Dichtigkeitsprüfung

Nachdem alle Baugruppen zusammengesetzt sind und angeschlossen sind, ist das Gerät auf Dichtigkeit zu prüfen. Alle O-Ring Anschlüsse werden nur handfest angezogen.

- Über das Ventilmundstück wird der TR300c bei geschlossenen Mischgasflaschen vollständig leer geatmet. Die zusammengezogenen Atembeutel dürfen sich bei einem dichten Gerät nicht entspannen. Das leer geatmete Gerät muss einige Minuten beobachtet werden.
- Die Mischgasflaschen werden geöffnet und über die Sauerstoff konstant Gas Dosierung aufgefüllt. Die Atembeutel müssen mindesten 1 Minute mit einem 1kg Bleistück beschwert aufgespannt verbleiben.



9.3.10. Tarierweste

Am TR300c kann jedes Tariersystem angebaut werden, das es ermöglicht zwei Schrauben aufzunehmen. Bei den ADV-Jackets z.B. SeaQuest PRO QD, oder jedes TEC Wing z.B DiveSystem TECH REC.

9.3.11. Bailout

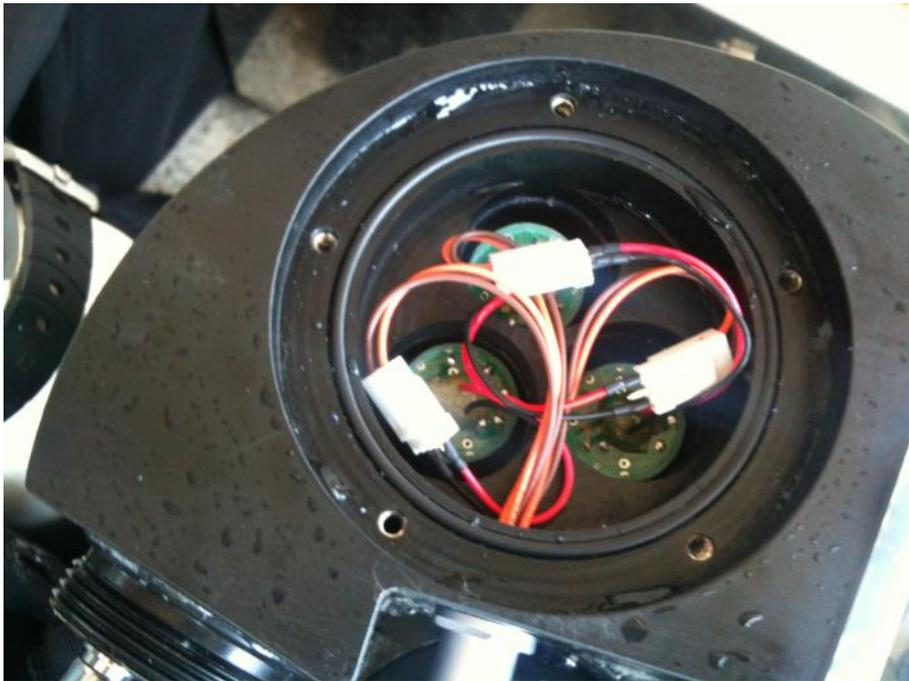
Für den Notfall empfiehlt es sich mindestens einen zusätzlichen Atemregler an der Mischgasflasche mit dem niedrigsten Sauerstoffgehalt zu befestigen. Ein zweiter Atemregler kann bei austauchpflichtigen Tauchgängen zusätzlich an der Mischgasflasche mit dem hohen Sauerstoff zum Austauschen benutzt werden. Die Mitnahme von zusätzlichen Atemgasflaschen (Stages) ist empfohlen.

9.3.12. Sauerstoffüberwachung

Der TR300c benötigt eine ständige Sauerstoffüberwachung. Dazu sind die Sauerstoffsensoren im Einatembereich untergebracht womit die Sauerstoffkonzentration der Einatemluft gemessen wird. Der Sauerstoffsensor ist im Kopfteil des TR300c untergebracht und muss vor dem tauchen kalibriert werden.



Öffnen der Sensorkammer



Sensoren in der Sensorkammer



Schließen der Sensorkammer



9.4. Sicherheitshinweise

Das Ventilmundstück darf **niemals** – weder über noch unter Wasser – aus dem Mund genommen werden, ohne dass das Mundstückventil vorher geschlossen wurde. Wassereintritt hebt die Absorptionswirkung des Atemkalkes auf und führt zum Versagen des TR300c.

Der Atemkalk ist immer dann zu erneuern, wenn die Mischgasflaschen gewechselt oder neu gefüllt werden.
 Es dürfen nie volle Mischgasflaschen zusammen mit einer teilweisen oder ganz verbrauchten Atemkalkfüllung verwendet werden.

Die Leistungsfähigkeit der CO₂ Bindungspatrone ist auf den Gasvorrat des TR300c mit einer max. Tauchzeit von 360 Minuten in warmen Wasser, bei mäßiger Anstrengung abgestimmt. Mit einer Gas- und Atemkalkfüllung dürfen bei Übungen auch mehrere Tauchgänge nacheinander durchgeführt werden, wenn diese nicht länger als 12 Stunden auseinander liegen. Während der Tauchpause ist das Ventilmundstück geschlossen zu halten.

CO ₂ – Absorption SPHERASORB			
O ₂ -Verbrauch	CO ₂ -Produktion	Standzeit Atemkalk bei Füllung 3.0 kg	Wassertemperatur
1,33 l/min	1,2 l/min	180 min	4°C
1,78 l/min	1,6 l/min	135 min	4°C
1,33 l/min	1,2 l/min	360 min	20°C
1,78 l/min	1,6 l/min	270 min	20°C



9.5. Pflege des TR 300c

Nach allen Tauchgängen und Übungen muss der TR300c wieder ordnungsgemäß hergerichtet werden.

Dazu ist erforderlich:

9.5.1. Reinigung

- Aus hygienischen Gründen sollte jede zum Atemkreislauf gehörende Baugruppe in einem Desinfektionsbad gereinigt, zumindest aber mit klarem Leitungswasser gespült werden.
ACHTUNG: kein Essig oder essighaltige Reiniger verwenden!
- Vor der Reinigung ist der Kalkbehälter aus dem Gerät zu entfernen, zu entleeren und dann gesondert von den übrigen Baugruppen zu spülen.
ACHTUNG: Der Atemkalk bildet mit Wasser eine starke Lauge, die nicht mit der Haut, dem Mund, den Augen oder den übrigen Baugruppen in Verbindung gebracht werden darf. Bei Kontakt mit ausreichend klarem Wasser spülen. Bei Augenkontakt unbedingt einen Arzt aufsuchen.
- Den TR300c äußerlich mit klarem Leitungswasser gut abspülen.
- Atembeutel, Atemschläuche mit Ventilmundstück vom TR300c lösen und in einem Desinfektionsbad, zumindest jedoch mit klarem Leitungswasser durchspülen.
- Es ist bei der Reinigung darauf zu achten, dass keine Feuchtigkeit in die Anschlüsse des Druckminderers, des Bypass und der Dosierung gelangen kann.
- Alle Teile sind anschließend an einem schattigen und luftigen Ort zu trocknen und danach wieder zu montieren.



9.6. Wiederholungsfragen

1. Worauf muss der Sauerstoff konstant Flow abgestimmt sein?

2. Was ist beim Befüllen des Kalkbehälters zu beachten?

3. Was ist der Überdrucktest?

4. Was ist der Unterdrucktest?

5. Wieso muss der Kreislauf vor dem Abtauchen mit Sauerstoff gespült werden?

6. Warum müssen die O₂ Sensoren vor dem montieren überprüft werden?



10. Wartung

10.1. Transport und Lagerung

Beim Transport des TR 300c zu oder von einem Tauchplatz sollte Dir immer die folgenden Fragen durch den Kopf gehen:

Habe ich wirklich alles dabei was ich am Tauchplatz benötige?

Wenn ich Teile nicht mitnehmen kann, kann ich diese dann vor Ort bekommen?

Das Erstellen einer Checkliste ist eine gute Idee damit nichts vergessen geht. Prüfe immer alles was Du ein- / auspackst auf Beschädigung. Nehme alle wichtigen Werkzeuge mit, die Du für das Zusammenbauen benötigst. Reinigungsmittel und Behälter (Beutel) zur Entsorgung des verbrauchten Atemkalks. Den Rebreather und den Atemkalk nicht im Auto lagern, wenn Frostgefahr besteht, ebenfalls nicht im Sommer wenn sich das Auto extrem aufheizt. Der Atemkalk würde sonst einfrieren oder zu trocken werden! Bevor der TR 300c gelagert wird, sollten alle Komponenten gründlich gereinigt, desinfiziert und auch getrocknet sein und an einem kühlen, schattigen Ort in einer Transportkiste gelagert werden. Feuchtigkeitsreste sind ein gutes Milieu für Bakterienwachstum. Der frische Atemkalk sollte ebenfalls den Herstellerangaben entsprechend kühl, trocken und schattig gelagert werden.

10.2. Service

1. Unter hohem Druck stehende Gase erfordern einen sorgfältigen Umgang. Alle Anschlüsse sollten daher sauber und frei von Beschädigungen sein. Sauerstoff unterstützt die Verbrennung von den meisten Brennstoffen, Schmierstoffen und Ölen besonders wenn der Sauerstoff unter hohem Druck und hochkonzentriert ist. Das Einhalten der Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit Sauerstoff und bei der Lagerung ist unbedingt zu beachten.

2. Reinige den gesamten Atembereich nach Gebrauch. Benutze dazu einen antibakteriellen Reiniger z.B. EW80des. Spüle dann danach alle Teile mit frischem Wasser um den Reiniger vollständig zu entfernen. Benutze keinen Atembereich oder Atemkalk den ein anderer in Benutzung hatte, ohne diesen vorher gründlich zu reinigen oder zu ersetzen.

3. Das Füllen der Druckflaschen erfordert besondere Aufmerksamkeit. Die kleinen Flaschen werden beim füllen schnell sehr warm. Besonders beim Gas mischen (Partialdruckmethode) ist auf Kühlung der Flaschen zu achten. Alle Druckflaschen sollten anschließend analysiert und entsprechend des Inhalts beschriftet werden.

4. Benutze die „pre dive“ und „post dive“ Checkliste.



11. Anmerkungen

Das Tauchen mit einem Kreislaufgerät ist anders als mit den offenen Automaten. Einige Übungen, die speziell für den Umgang mit dem Kreislaufgerät über und unter Wasser generiert wurden, sollten probiert und verstanden sein. Im Laufe der Zeit wird der Umgang mit dem TR 300sc immer vertrauter werden und das Gefühl für die Stille und das Schweben unter Wasser wird zum vollem Genuss. Mit der Anzahl der Tauchgänge wirst Du auch ein Gefühl für die Geräusche und den Atemwiderstand bekommen. Jede Abweichung sollte Dich dann alarmieren entweder das Gerät zu überprüfen „Bubble“ Handzeichen zum Tauchpartner oder den Tauchgang abzubrechen, eventuell mit einem sofortigen Wechsel auf den Bailout Automaten. **(WICHTIG: IMMER DAS ATEMSCHLAUCH-MUNDSTÜCK VERSCHLIESSEN wenn NICHT im MUND !!!).**

- „pre dive“

Vor dem Tauchgang das Gerät komplett zusammen bauen und alle „pre dive“ Checks durchführen. Mundstück ist IMMER verschlossen solange das Mundstück nicht im Mund ist !!! Vor dem Tauchgang, FLASCHEN öffnen (Finimeter !) dann (z.B. beim Flossenanziehen) das Mundstück in den Mund nehmen, Schieber öffnen und Atemkreislauf „spülen“. dann ruhig aus dem Kreislauf atmen. Dadurch wird der Atemkalk schon mit CO₂ versorgt und beginnt Wärme und Feuchtigkeit zu produzieren, wodurch der Wirkungsgrad steigt. Wenn nicht gleich abgetaucht wird und z.B. zur Abstiegstelle geschwommen wird, Mundstück verschließen und aus dem Mund nehmen. Über Wasser nicht unter Anstrengung aus dem Kreislauf atmen. Dann nach wieder Aufnahme des Mundstücks Kreislauf auf den Abtauchsetpoint von mindestens 0.7 pO₂ erhöhen.

- „dive“

Unter Wasser auf die Geräusche achten. Der erste „Bubble“ check sollte zwischen 3 – 5 Meter erfolgen. Buddy prüft! (Handzeichen). Ständig den PO₂ Wert kontrollieren, eventuell kurz den Kreislauf mit Sauerstoff spülen, falls der PO₂ Wert unter den Setpoint fällt.

- „post dive“

Das Mundstück solange im Mund behalten bis Du aus dem Wasser bist, dann Mundstück verschließen. Wenn Du an der Oberfläche ein Stück schwimmen musst, dann Mundstück verschließen und aus dem Mund nehmen. Niemals an der Oberfläche unter Anstrengung aus dem Kreislauf atmen!. Mundstück gut verschlossen halten. An Land/Boot Druckflaschen schließen. Gerät auseinander bauen und reinigen. Dabei auf Farbe des Atemkalks und auf Wassereinbruch achten.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



12. Übungen:

Um das Kreislauftauchgerät auch in allen Situationen sicher zu beherrschen sind einige neue Übungen und Abläufe notwendig.

12.1. Atemkreislauf Spülen an Land / Unterwasser

Der Stickstoff der normalen Atemluft befindet sich immer noch im Atemkreislauf des Gerätes und in deiner Lunge. Damit sich diese Luft nicht erst langsam mit dem Pre Mix vermischen muss, wird durch 3-maliges Spülen des Atemkreislauf das System mit dem Sauerstoff gespült bis sich der Setpoint (0.7 pO₂ an der Oberfläche, ca. 1.2 pO₂ während des Tauchganges) eingestellt hat.

Das muss auch immer durchgeführt werden, wenn etwas anderes als aus dem Kreislauf geatmet werden soll (z.B. Zurück-Wechseln vom Bailout).

Ablauf:

- durch das Mundstück einatmen
- durch die Nase (also in die Maske) ausatmen
- Sauerstoff dosiert! einspülen
- den Ablauf wiederholen, bis sich der Setpoint entsprechend einstellt!

12.2. Herausnehmen des Mundstück über/unter Wasser

Beim herausnehmen des Mundstücks immer das Mundstück mit dem Schieber verschließen! Sonst säuft der Rebreather ab. Bei wieder aufnehmen des Mundstücks das Mundstück ausblasen und den Schieber öffnen! Kontrolle ob der Setpoint noch stimmt!

12.3. Atemschlauch „ausschütteln“

Durch das Kondenswasser (Atem) oder durch einen Wassereinbruch kann es zu Wasser im Atemschlauch kommen. Kleine Mengen Wasser können durch herausnehmen des Mundstücks (verschließen nicht vergessen ! und eigene Atemwege offen halten !) und hochhalten des Atemschlauchs über den Kopf in die Wasserfallen geschüttelt werden.

12.4. Wechsel Mundstück Bailoutautomat über/unter Wasser

Mundstück verschließen und herausnehmen. Bailoutautomat in den Mund nehmen, ausblasen und atmen.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



12.5. Ab-/Anlegen Gerät

Je nach Jackettyp das Gerät ablegen. Eventuell vorher auf den Bailoutautomat wechseln (siehe oben!). Danach das Gerät je nach Jacket wieder anlegen. Wenn währenddessen auf den Bailoutautomat gewechselt wurde, Atemkreislauf durch Zugabe von Sauerstoff wieder auf den Setpoint einstellen nach dem Wiedererlangen des Atemschlauchs.

12.6. Schwimmen in verschiedenen Lagen

Atme aus dem TR 300sc in verschiedenen Lagen um die Charakteristik der Konstantdosierung ins Gefühl zu bekommen. Ebenso wirst Du merken wie sich der Atemwiderstand mit der Körperhaltung ändert. Durch die Anordnung der Gegenlunge (Atembeutel) wirst Du beim Verlassen der Schwimmposition (horizontal nach vertikal oder Brust nach Rückenlage) einen starken Luftdruckanstieg im Mundstück verspüren. Dies kommt durch die „Höhe“ der entstandenen Luftsäule.

12.7. Wechselatmen

Es ist möglich mit einem anderen Taucher mit dem Atemschlauch Wechselatmung durchzuführen. Dazu muss der Luftempfänger über dem Luftspender schwimmen. Der Atemschlauch wird dann jeweils verschlossen nach oben oder unten gereicht.

Diese Übung sollte allerdings aus hygienischen Gründen nur auf Zustimmung beider Taucher durchgeführt werden.

Es soll in dieser Übung auch nur aufgezeigt werden, dass es möglich ist. Eine längere Wechselatmung ist hiermit nicht sinnvoll durchzuführen, es sollte daher immer mit einem entsprechenden offenen System als Bailout die Partnerversorgung durchgeführt werden-

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



12.8. Dekostops

Auch beim „normalen“ SCUBA Tauchen werden bei tieferen Tauchgänge Sicherheits- - Dekostops eingehalten.

Im Bereich des TEC Tauchens kann es von Vorteil sein auch noch eine Dekogas Mischgasflasche dabei zu haben. Das Dekogas sollte dann einen gleichen oder höheren Sauerstoff Anteil als der Bottom Mix haben. Die Deko-Berechnungen müssen dann separat vom Bottom Mix ablaufen. Die Berechnung von Deko Tauchgängen ist wie mit einem offenen System durchzuführen. Lediglich die unterschiedlichen Sauerstoff Anteile in den jeweiligen Tiefen (und damit der Stickstoff) sind entsprechend zu rechnen. (z.B. mit V-Planner im CCR Modus). Auch die Verwendung geeigneter Tauchcomputer, (z.B. Shearwater GF) mit Anschlussmöglichkeit eines Sauerstoffsensors ist geeignet. Auch die Verwendung von Trimix im Bottom Mix ist möglich, aber dafür sind die Berechnungen natürlich noch komplexer. Bei langen oder tiefen Tauchgängen sollte für den Notfall immer eine gewisse Menge an Stages/Dekogas mitgenommen werden!



13. Anhang

Checkblatt TR 300sc

PRE-Dive-check

- Kontrolle der Atemschläuche und Funktion Richtungsventile
- Kontrolle des Gemisches in der Flasche (Sauerstoff und Diluent)
- Anbau der Flaschen (Sauerstoff und Diluent)
- Montage der ersten Stufen (Sauerstoff und Diluent) an die Flaschen
- Öffnen der Sauerstoffflasche und Kontrolle des Flaschendrucks
- Kontrolle und einstellen der Konstantdosierung (Flow Meter)
- Kontrolle und Kalibrierung der Sauerstoffmonitore
- Schließen der Sauerstoffflasche
- Füllen des Kalkbehälters und Kontrolle auf Dichtigkeit
- Kontrolle der Atembeutel
- Kontrolle auf Dichtigkeit durch Überdruck
- Kontrolle im aufgeblasenen Zustand
- Einstellung des Überdruckventil
- Kontrolle durch Unterdruck
- Öffnen der Sauerstoffflasche und Gerät mit Sauerstoff füllen
- Öffnen Diluent Flasche und Kontrolle des Flaschendrucks
- Kontrolle Funktion Bailout Lungenautomat, Tarierweste, Inflator und Jacket
- Einstellen des Tauchcomputers auf geplanten pO_2

DIVE-check

- Briefing und Buddycheck
- Öffnen der konstant Dosierung
- Spülen des Systems mit Sauerstoff (einatmen durch Mund / ausatmen durch Nase und betätigen des Tastventils) bis ein pO_2 von > 0.7 erreicht ist, dann erst Tauchgang beginnen.
- Kontrolle auf Leckagen unter Wasser
- Kontrolle des Finimeter
- Stetige Kontrolle der Sauerstoffmonitore
- Maximale Tauchtiefe beachten (MOD)
- Sicherheitsstopp am Ende des Tauchgangs
- An der Oberfläche nicht aus Kreislaufsystem atmen
- Nach Tauchgang (an Land) konstant Dosierung schließen.

POST-Dive-check

- Kontrolle des Ausatembeutels auf Flüssigkeit
- Kontrolle des Atemkalkbehälters auf Flüssigkeit (wenn Nass wechseln)
- Kontrolle des Atemkalkbehälters auf Blauverfärbung (wenn Blau wechseln)
- Reinigen und desinfizieren der Atemschläuche
- Reinigen und desinfizieren des Atembeutel
- Reinigen und Zerlegen des TR 300sc
- Füllen der Sauerstoff und Diluent Flasche

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



13.1. Atemkreislauf spülen

Vor dem Betreten des Wassers sind beide Flaschen zu öffnen.

Während des Buddycheck wird schon aus dem Rebreather geatmet, um den Atemkalk zu aktivieren. (pO_2 kontrollieren ! immer grösser 0,5 !)

Unmittelbar vor dem Tauchgang wird dann der Atemkreislauf gespült.

Das Spülen wird durch Einatmen über das Mundstück und Ausatmen über die Nase durchgeführt. Es sollte dann im System ein pO_2 von mindesten 0.7 pO_2 zu messen sein.

Vor dem folgenden Abtauchen darf keine Umgebungsluft mehr geatmet werden!

Die vom offenem System her bekannte Methode des Ausatmens zum abtauchen funktioniert an dieser Stelle nicht mehr.

Schnelles Abtauchen sollte ebenfalls vermieden werden da durch zu schnelles Abtauchen der Bypass aktiviert wird und der Gasverbrauch deutlich steigt.

Aus diesem Grund sollten ebenfalls Sägezahnatauchprofile (Jo-Jo-Tauchgänge) ebenfalls vermieden werden.

13.2. Abtauchen

In 3 bis 5 Meter Tiefe wird ein Sicherheitsscheck durchgeführt, damit durch die gegenseitige Kontrolle die Dichtigkeit der Systems (Blasenbildung) gewährleistet ist. Nochmalige Kontrolle der Sauerstoffmonitore !

Durch die exotherme Reaktion des Atemkalks und der ständigen Zirkulation des Atemgases bleibt dieses ständig warm und feucht. Die Vorteile daraus sind eine geringere Auskühlung und Dehydratation des Körpers.

Durch diese Vorteile ergeben sich zusätzliche Sicherheitsaspekte in Bezug auf Dekompressionsprobleme.

Bei längeren Tauchgängen sammelt sich kondensierende Atemfeuchtigkeit im Ausatemschlauch. Die dabei auftretenden gurgelnden Geräusche beeinflussen die Funktion des Gerätes jedoch nicht.

Sollten die gurgelnde Geräusche urplötzlich auftreten, handelt sich es in den meisten Fällen um einen Wassereinbruch, dabei kommt es zu erhöhten Atemwiderständen und zu häufigerem Ansprechen des Bypassventils.

In diesem Fall ist auf das Bailout System oder den Oktopus zu wechseln und aufzutauchen.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



13.3. Auftauchen

Vor dem Beginn des Auftauchens muss der Atemkreislauf gespült werden um einen hohen pO_2 (ca. 1.3 pO_2) zu erzielen.

Das durch den Wasserdruck sich ausdehnende überschüssige Gas wird beim Auftauchen über die Nase abgegeben.

Achtung:

Beim Auftauchen muss darauf geachtet werden, dass die Auftauchgeschwindigkeit unter Kontrolle bleibt. Durch starke Volumen zunahmen der Atembeutel, der Tariermittel und des Trockentauchanzugs kann es schnell zu unkontrollierbaren Aufstiegen kommen.

Halten immer einen Sicherheitsstopp von 5m/3min ein.

Nachdem Du aufgetaucht bist, schließe den Schieber und atme Umgebungsluft.

Nach dem Verlassen des Wassers schließt Du die Gaszufuhr am Ventil, da sonst über den konstant Flow unnötig Gas abströmt.

Hinweis:

Auf keinen Fall sollten längere Schwimmstrecken an der Oberfläche unter Geräteatmung unternommen werden: **GEFAHR EINER HYPOXIE!**

13.4. Die Atemtechnik des TR300c

Durch konstruktive Maßnahmen ist die Atemarbeit beim TR300c in „normaler“ Schwimmlage relativ gering. Jedoch unterscheidet sich der Atemkomfort von offenen Systemen.

Für den Taucher bedeutet dies, dass er einige Tauchgänge benötigt, um sich an das neue „Fehling“ zu gewöhnen.

Der erste Schritt ist das Ermitteln der individuell richtigen Einstellung des Überdruckventils. Die dazu nötige Einstellarbeit realisiert man am besten mit einem Tauchpartner im Pool oder auf einer Plattform.

Beim Tauchgang sollte man sich auf typische Geräusche konzentrieren:

Ansprechen des Überdruckventils, Rauschen des konstant Flow.

Weiterhin sollte man routinemäßig den O_2 Monitor kontrollieren.

Atme ruhig und tief, Sparatmung ist bei einem Rebreather sinnlos!

Durch die Konstruktion eines Rebreather ist eine Feintarierung über die Lunge nicht möglich.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Da sich konstruktionsbedingt die Atmung bei verschiedenen Schwimmlagen ändert, sollten die im Pool ausprobiert werden.

Wichtig: Da in einem Atemkreislauf optimale Bedingungen für Bakterien aller Art herrschen, werden diese sich auch garantiert entwickeln, wenn nicht regelmäßig eine Desinfektion durchgeführt wird.

In Regelmäßigen Abständen sind die Atembeutel auch im inneren auf „bewuchs“ zu überprüfen.

Nach dem Tauchtag wird das Gerät komplett gespült, desinfiziert und getrocknet.

Die Lagerung muss an einem geeigneten Ort stattfinden.

Alle Verbindungen sollten auf Funktion kontrolliert werden und gegebenenfalls leicht gefettet werden (Molykote).



13.5. Wiederholungsfragen

1. Was soll direkt nach dem Abtauchen überprüft werden?

2. Warum soll schnelles Abtauchen vermieden werden?

3. Warum sind Sägezahn-Tauchprofile nachteilig?

4. Was verursacht eine schlecht sitzende Maske?

5. Was soll vor dem Auftauchen gemacht werden?

6. Wie kann überschüssiges Atemgas beim Auftauchen abgegeben werden?

7. Ist es sinnvoll an der Oberfläche mit Geräteatmung zu schwimmen?

8. Warum ist es wichtig, das Gerät nach jedem Tauchtag zu desinfizieren?

9. Warum dürfen nur sauerstofftaugliche Fette zum Fetten der O-Ringe benutzt werden?

10. Was bedeutet pO_2 ?

11. Wie sollten die Sauerstoffpartialdrücke gewählt werden?

Holger Berghäuser
Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



12. Worauf muss beim Befüllen des Kalkbehälters geachtet werden?

13. Beschreibe den Überdruck und Unterdrucktest!



14. Tauchpraxis / Übungen

14.1. Gerätevorbereitung

- Der Tauchgang wird auf geplante Tiefe und Tauchzeit überprüft.
- Die Inhalte der Flaschen und der Flaschendruck wird überprüft.
- Der konstante Flow wird geprüft.
- Der Kalkbehälter wird befüllt bzw. ein frisch befüllter wird verwendet.
- Bei kalten Außentemperaturen sollte der Atemkalk im warmen eingefüllt werden und thermisch warm (isoliert) zum Tauchplatz gebracht werden. Vor dem Tauchgangsbeginn sollte das Gerät im warmen angeatmet werden um die chemische Reaktion zu starten.
- Dichtigkeit kontrollieren.
- Bailout- System kontrollieren.

14.2. Praktischer Umgang

14.2.1. Poolübungen

- Abtauchen
- Buddycheck
- Kontrolle der Einstellung des Überdruckventils
- Kontrolle der Tarierung
- Wechsel vom Rebreather zum Bailoutsystem und zurück
- Kurze Tauchstrecken mit Tarierübungen
- Schwimmmlage Änderungen
- Kontrollierter Aufstieg

14.2.2. Open - Water Übungen 1

- Abtauchen auf 6 Meter
- Buddycheck
- gegebenenfalls einstellen des Überdruckventils
- Lagenwechsel um mit den unterschiedlichen Atemwiderständen vertraut zu werden
- Wechsel vom Rebreather zum Offenen System und zurück
- Langsamer Aufstieg, Nach Auftauchen Mundstück schließen
- Aus dem Wasser Konstant Flow am Switchblock schließen

14.2.3. Open - Water Übung 2

- Abtauchen auf 6 Meter
- Buddycheck
- gegebenenfalls Einstellen des Überdruckventils

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



- Verlieren und anschließendes Wiedererlangendes Mundstücks bei geschlossenem Schieber
- Diverse Schwimmlagen probieren
- Aufstieg unter Nutzung des Bailoutsystems vom Tauchpartner.

14.2.4. Open - Water Übung 3

- wie Open - Water 2 jedoch Aufstieg unter mehrmaligen Wechsel zwischen Rebreather und Bailout System (die Anzahl der Wechsel richtet sich nach der Tauchtiefe)

14.2.5. Spezielle Handzeichen

Ist mein Gerät dicht?

Zeigefinger und Daumen aufeinander mehrmals machen

Gerät ist dicht.

Daumen und Zeigefinger einer Hand zusammenführen, die Hand bildet ein Gefäß, und mit anderer Hand das Gefäß verschließen (Deckel)

Blasenbildung beim Gerät des Partners

Der Zeige und Mittelfinger einer Hand bewegen sich gegenläufig auf und ab , dabei bewegt die Hand sich nach oben

Wassereinbruch

Zeigefinger macht Wellenbewegung, dabei auf das Gerät zeigen

Atemkreislauf spülen

mit zwei Fingern zur Nase zeigen, danach die Finger unter kreisender Bewegung von der Nase wegbewegen.



14.2.6. Probleme und Behebung

14.2.6.1. *Verlust des Mundstücks*

Durch Rückwärtsneigung kann es Wiedererlangt werden.

Sollte das Mundstück verloren gehen, steigt es auf. Wenn Sie sich nach hinten legen können Sie es sehen und wieder in den Mund nehmen. Es ist möglich das Wasser in den Atemkreislauf gelangt ist, achten Sie auf gurgelnde Geräusche. In diesem Fall sollte der Tauchgang abgebrochen werden. Auf Bailout wechseln und auftauchen.

14.2.6.2. *Erbrechen unter Wasser*

Erbrochenes im Atemschlauch macht das Gerät funktionsunfähig. Falls Sie sich unter Wasser erbrechen müssen, wechseln Sie vorher auf das Bailout System. (Mundstück schließen nicht vergessen!)

14.2.6.3. *Kalk verbraucht*

Mundstück schließen, auf Bailout gehen, Auftauchen (Symptome. die Atemfrequenz steigt an, Lufthunger, Kopfschmerzen, Übelkeit usw.)

14.2.6.4. *Kalkpatrone geflutet*

Mundstück schließen, auf Bailout gehen, Auftauchen
(Symptome: erhöhter Atemwiderstand, häufigeres Ansprechen des Bypassventils, erhöhte Atemfrequenz, Lufthunger, Übelkeit)

14.2.6.5. *Wassereinbruch*

Mundstück schließen, auf Bailout gehen und Auftauchen



14.2.7. Wiederholungsfragen

1. Warum soll zu schnelles Abtauchen vermieden werden?

2. Welchen Nachteil haben Sägezahn-Tauchprofile?

3. Was soll vor Beginn des Auftauchens durchgeführt werden?

4. Ist schwimmen an der Oberfläche unter Geräteatmung sinnvoll?

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



15. Praxistipps

Die in diesem Kapitel erläuterten Praxistipps sind durch diverse Tauchgänge mit dem TR300c Rebreather gesammelt wurden. Sollten bei Anwendung dieser Tipps Schäden auftreten haftet H.B.-Best und der TR300c Verein nicht!

15.1. Bebleiung

Es empfiehlt sich 2 kg Blei im Backplatefalz anzubringen: Dadurch wird der Auftrieb der Atembeutel im Schulterbereich ausgeglichen und der Taucher erhält eine optimale Schwimmage.

15.2. Verwendung von Nitroxcomputern ohne Sauerstoffsensoren

Bei Verwendung von normalen Nitroxcomputern hat es sich in der Praxis gezeigt, dass der eingestellte Nitroxanteil des Computers 5 % unter dem berechneten %O₂ (ermittelt aus Tauchtiefe und Setpoint) sein sollte. Normalerweise stellt sich beim Tauchgang im Mittel ein Gemisch von weniger 5 % des errechneten %O₂ ein. Somit wird die Dekompressionsberechnung mit relativ realen Werten durchgeführt. Das Tiefenlimit muss bei dieser Vorgehensweise vor dem Tauchgang geplant und strikt eingehalten werden. Diese Vorgehensweise setzt einen normalen Sauerstoffbedarf voraus!

15.3. Verwendung von Tauchcomputern mit Sauerstoffsensoren

Bei der Verwendung von Tauchcomputern mit Sauerstoffsensoren sollte der Setpoint entsprechend eingestellt sein (z.B. VR3, Shearwater GF).

Es gibt Tauchcomputer, welche nur bis 21% Sauerstoff berechnen, z.B. der UWATEC Air X O₂. Sollte bei der Benutzung ein Sauerstoffanteil im Atemgas von unter 21 % Sauerstoff auftreten, wird der Computer trotzdem seine Berechnungen mit 21 % weiterführen und es kann zu ernsthaften Dekompressionsproblemen kommen.

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



15.4. HF Festigkeit

Ein weitgehend unbekanntes Problem ist die HF Festigkeit von Tauchcomputern mit Sauerstoffsensoren. Folgendes Problem ist möglich: Der Computer wird vor dem Tauchgang mit dem Sensor kalibriert, dabei loggt sich zum Beispiel ein Handy gerade in ein neues Netz ein oder in der Nähe befindet sich ein Sendemast.

Diese Faktoren können dazu führen, dass die Kalibrierung fehlerhaft wird. In der Praxis kann das bedeuten, dass der Tauchgang vom Computer mit einem falschen, nicht wirklich vorhandenem, Gemisch berechnet wird. Was dabei wirklich passiert, ist nicht mehr nachprüfbar.

15.5. Geräuschwahrnehmung

Man sollte während der Tauchgänge auf die typischen Geräusche konzentrieren, zum Beispiel das regelmäßige Ansprechen des Bypasses sowie das Strömungsgeräusch des Konstant Flows. Auf das Ausbleiben von typischen Geräuschen sollte entsprechend reagiert werden.

15.6. Kondenswasser

Da es im Laufe eines Tauchganges zu Kondenswasserbildung kommt, entsteht nach einiger Zeit das Bedürfnis, dieses aus dem Kreislauf zu entfernen.

Dazu wird die Übung zum Ausschütteln des Atemschlauches benutzt. Das Kondenswasser wird dadurch in den Ausatembeutel und über das Auslassventil ins Wasser abgegeben.



16. Glossar

Absorber

Atemkalk, der durch chemische Reaktion CO_2 aus dem Atemgas entfernt.

Atemschleife (Breathing Loop)

Der Weg des Atemgases in einem Kreislaufgerät (Atembeutel, Atemschläuche, Kalkbehälter, Walzenschiebermundstück).

Atembeutel

Die Gegenlung aus dem geatmet wird bzw. in den geatmet wird.

Bailout

Separates Gasversorgungssystem zur Beatmung und eventuell Tarierung, meist offenes System.

Bypass, ADV

Ventil zur automatischen Zuführung von Atemgas in den Kreislauf.

Caustic Cocktail

Kann entstehen, wenn Wasser sich mit Atemkalk vermischt, stark ätzend.

CO_2 :Kohlendioxyd

Entsteht durch die Verbrennung von Sauerstoff, ist geruchlos und giftig.

Diluent

Verdünnungsgas, welches zum befüllen des Atemkreislaufes während des Abtauchens benötigt wird

Gegenlung

Die Atembeutel aus denen geatmet wird bzw. in den geatmet wird.

Geschlossener Kreislauf: CCR

Ein Kreislaufgerät aus dem nur Gas ausströmt wenn aufgetaucht wird (geschlossenen Sauerstoffgeräte, elektronisch gesteuerte Geräte, Chemical Closed Systeme z. B. IDA 71)

Halbgeschlossener Kreislauf: SCR

Durch Konstant Flow mit Frischgas versorgte Geräte, ein gewisser Anteil Atemgas wird durch Überdruckventil an die Umgebung abgegeben.

Hyperkapnie

Anstieg der CO_2 Konzentration bzw. CO_2 Partialdrucks im Blut

Hyperoxie

Überschuss an O_2 auf der Zellebene

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Hypoxie

O₂ Mangel in den Geweben

Kalkbehälter

Behälter für den Atemkalk

Kalkdurchbruch

Der Kalk ist CO₂ gesättigt und nimmt keinen CO₂ mehr auf

KTG

Kreislaufauchaugerät

Konstant Flow

Konstante Zumischung des Atemgases mittels Festdüsen oder variablen Düsen.

Switchblock

System zur Gasumschaltung

NOAA

National Oceanic and Atmospheric Administration

OC System: Open Circuit

Offenes System

ZNS – Belastung

Sauerstoffbelastung des ZNS abhängig von Tauchgang und Gemisch

pO₂

Sauerstoffpartialdruck

Set Point

Der maximal zulässige Sauerstoffpartialdruck für einen Tauchgang

SCR

Semi Closed Rebreather, halbgeschlossenes Kreislaufgerät

CCR

Close Circuit Rebreather, geschlossenes Kreislaufgerät

Verbrauchsmaterialien

Materialien die Wähen eines Tauchgangs verbraucht werden (Atemgas, Atemkalk)

ZNS Toxizität

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de



Giftige Wirkung von Sauerstoff auf das Zentrale Nervensystem bei zu hohem Sauerstoffpartialdruck.



17. Tabellen

%O ₂ in der jeweiligen Tiefe				
Tiefe (m)	pO ₂ 1,1 bar	pO ₂ 1,2 bar	pO ₂ 1,3 bar	pO ₂ 1,6 bar
3	85	92	100	-
5	73	80	86	-
6	69	75	81	100
9	58	63	68	84
12	50	55	59	-
15	44	48	52	-
20	36	40	43	-
25	31	34	37	-
30	27	30	32	-
35	24	26	28	-
40	22	24	26	-
45	20	22	24	-
50	18	20	21	-

Tabelle 1

NOAA Oxygen Partial Pressure and Exposure Time Limits for Nitrogen – Oxygen Mixed Gas Dives				
pO ₂ bar	O ₂ Single Exposure		24 Hour Total Exposure	
	Minuten	Stunden	Minuten	Stunden
1,6	45	0,75	150	2,5
1,5	120	2,0	180	3,0
1,4	150	2,5	180	3,0
1,3	180	3,0	210	3,5
1,2	210	3,5	240	4,0
1,1	240	4,0	270	4,5
1,0	300	5,0	300	5,0
0,9	360	6,0	360	6,0
0,8	450	7,5	450	7,5
0,7	570	9,5	570	9,5
0,6	720	12,0	720	12,0

Tabelle 2



CNS O₂%-Tabelle (NOAA)

PO ₂ (in bar)	CNS O ₂ % (in %/min)	max. Tauchzeit (in min)	pO ₂ (in bar)	CNS O ₂ % (in %/min)	max. Tauchzeit (in min)
0,50	0,00		1,22	0,48	208
0,60	0,14	714	1,24	0,51	196
0,64	0,15	667	1,26	0,52	192
0,66	0,16	625	1,28	0,54	185
0,68	0,17	588	1,30	0,56	179
0,70	0,18	556	1,32	0,57	175
0,74	0,19	526	1,34	0,60	167
0,76	0,20	500	1,36	0,62	161
0,78	0,21	476	1,38	0,63	159
0,80	0,22	455	1,40	0,65	154
0,82	0,23	435	1,42	0,68	147
0,84	0,24	417	1,44	0,71	141
0,86	0,25	400	1,46	0,74	135
0,88	0,26	385	1,48	0,78	128
0,90	0,28	357	1,50	0,83	120
0,92	0,29	345	1,52	0,93	108
0,94	0,30	333	1,54	1,04	96
0,96	0,31	323	1,56	1,19	84
0,98	0,32	313	1,58	1,47	68
1,00	0,33	303	1,60	2,22	45
1,02	0,35	286	1,62	5,00	20
1,04	0,36	278	1,65	6,25	16
1,06	0,38	263	1,67	7,69	13
1,08	0,40	250	1,70	10,00	10
1,10	0,42	238	1,72	12,50	8
1,12	0,43	233	1,74	20,00	5
1,14	0,43	233	1,76	25,00	4
1,16	0,44	227	1,78	33,33	3
1,18	0,46	217	1,80	50,00	2
1,20	0,47	213	1,82	100,00	1

Reduktionsfaktoren für die CNS-Aufsättigung
 während der Oberflächenpause

ZNS - Erholungsfaktoren							
Oberflächenpause in Stunden	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30
Erholungsfaktor	0,80	0,63	0,50	0,40	0,31	0,25	0,20
Oberflächenpause in Stunden	4:00	4:30	5:00	5:30	6:00	6:30	9:00
Erholungsfaktor	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05	0,01

Holger Berghäuser

Beratung, Entwicklung und Vertrieb
für System- und Tauchtechnik
Silcherweg 2
69469 Weinheim
info@hb-best.de

**CO₂ – Absorption SPHERASORB**

O ₂ -Verbrauch	CO ₂ -Verbrauch	Standzeit Atemkalk bei Füllung 1.0 kg	Wassertemperatur
1,33 l/min	1,2 l/min	90 min	4°C
1,78 l/min	1,6 l/min	65 min	4°C
1,33 l/min	1,2 l/min	180 min	20°C
1,78 l/min	1,6 l/min	135 min	20°C



18. Formeln

$$\text{absoluter Druck} = \left[\frac{\text{Tiefe}}{10} + 1 \right]$$

$$\text{Dalton} = \frac{Pg}{Fg|P}$$

$$\text{beste Mischung} = Fg = \frac{Pg}{P}$$

$$\text{ZNS- Limit} = PO_2 = FO_{2x} \left[\frac{\text{Tiefe}}{10} + 1 \right]$$

$$\text{MOD (max. Tiefe)} = \left[\frac{PO_2}{FO_2} - 1 \right] \times 10$$

$$\text{EAD (äquivalente Lufttiefe)} = \left[\frac{FN_{2x}(\text{Tiefe} + 10)}{0,79} \right] - 10$$

$$\text{Sauerstoffanteil im Atemkreislauf} = FiO_2 = \frac{(Q_{sx}F_{sO_2}) - VO_2}{Q_s - VO_2}$$



19. Wissen

Kohlendioxidvergiftung (Hyperkapnie)

Symptome:

- ab 1,5% CO₂ beschleunigte, vertiefte Atmung - „Lufthunger“
- ab 4-5% CO₂ Blutdruckanstieg, später –abfall
schneller - z.T. unregelmäßiger Puls
starke Kopfschmerzen
Übelkeit und Erbrechen
Benommenheit/Verwirrtheit
Bewusstlosigkeit
Tod durch Lähmung des Atemzentrums

1.Hilfe:

- Beendigung der CO₂-Exposition
- O₂-Gabe, ggf. O₂-Beatmung
- Atem-, Puls- und Blutdruckkontrolle

Sauerstoffmangel (Hypoxie)

Ursache:

- Atemgasvorrat aufgebraucht
- Gerätefehler
- Fehlbedienung (Premix/Düse)
- zu hoher O₂ Verbrauch (norm. bis 2,5 l/min)
- Hypoxie bei schnellem Aufstieg

Symptome:

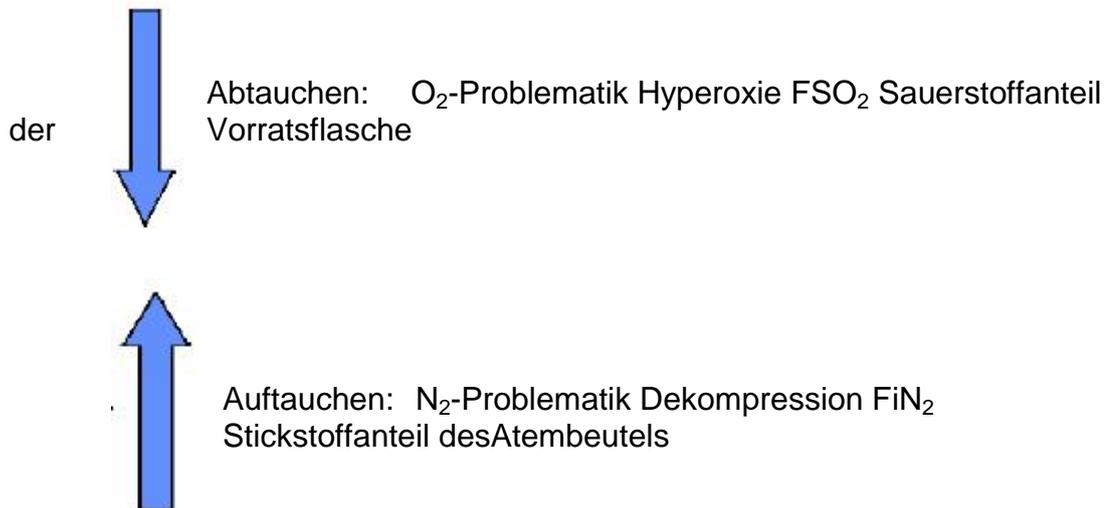
- plötzliche Bewusstlosigkeit ohne Vorwarnung
- Gefahr ab pO₂ <0,16bar

Vermeidung:

- peinlich genaue Atemgashandhabung (Premix, Düse, Durchflussmessung)
- Computer mit Restdruckwarnung
- O₂-Überwachung (OXY2)



Physikalische Aspekte des Rebreather-Tauchens



19.1.1. Sauerstoffanteil im Kreislauf eines CCR

$$FiO_2 = pO_2 / ((D / 10) + 1)$$

FiO₂ = O₂-Anteil im Atembeutel (in %)

pO₂ = Konstantgehaltener Setpoint (Partialdruck)

D = Tauchtiefe (in Meter)

19.1.2. Verätzungen mit Atemkalk

Ursache:

- Kalkstaub im Kreislauf
- Wasser im Kreislauf (ätzende Lauge)

Symptome:

- Reizung und Brennen der Atemwege
- Zwang zum trockenen Husten
- Gefühl der Luftnot
- in schweren Fällen: schwere, pfeifende Atmung

1. Hilfe:

- 5 Hübe Auxiloson-Dosieraerosol (cortisonhaltiges Spray)
- O₂-Inhalation – Klinikeinweisung
- Tauchgerät sicherstellen – Fehlersuche



Beschreibung der CO₂ Absorption im Atemkalk

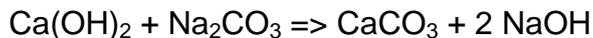
Die Bindung des CO₂ im Atemkalk wird in drei Phasen durchgeführt. In der ersten Phase wird das CO₂ durch Wasser H₂O zu Kohlendioxid H₂CO₃ gebunden. Daher ist es sehr wichtig, dass der Atemkalk eine gewisse Feuchtigkeit hat. (Grundfeuchtigkeit und Atemluft)



Die Kohlensäure reagiert nun mit einem Bestandteil im Atemkalk (Ätznatron, NaOH, Natriumhydroxid, also einer Lauge) zu Natriumkarbonat (Na₂CO₃) und Wasser



Das Natriumkarbonat reagiert nun mit Calciumhydroxid (Ca(OH)₂, auch ein Bestandteil des Atemkalk) zu (gelöschtem) Kalk (Calciumkarbonat, CaCO₃) und Natriumhydroxid (das wird weiter oben ja wieder gebraucht)



Die Reaktionsstoffe Wasser und Natriumhydroxid werden während des Prozesses wieder erneuert, lediglich das Calciumhydroxid wird verbraucht und zu chemisch inaktive Kalk gewandelt.

Theoretisch können 100gr. Calciumhydroxid (Ca(OH)₂) ca. 30 Normlitern CO₂ binden. Durchschnittlicher Atemkalk besteht aus:

5% NaOH, 1% KOH, 0.2% Silicium/Kiesselghur,
14-19% Wasser und ca. 75% Ca(OH)₂.

Damit ergibt sich bei 20°C eine theoretische CO₂ Bindungsfähigkeit von 225 Normlitern CO₂. Die Hersteller geben für 1Kg Atemkalk eine Bindungsfähigkeit von 120 Normlitern an !

Die Wirksamkeit lässt allerdings mit der Atemkalk Temperatur nach:

100% bei 21°C , 80% bei 15,5°C, 65% bei 10°C und <50% bei 1,5°C