

Passive Semi Closed Rebreather – can kill you

Ich bin seit zwei Jahren mit einem passiven Semi Closed Rebreather (pSCR) unterwegs. In dieser Zeit sind einige Geräte mit diesem Funktionsprinzip gebaut und verkauft worden. Das Auftauchen dreier weiterer Geräte und die Fragen während des Rebreather-Treffens vom 26.09.2004, sowie der Nachhilfe Unterricht für Käufer haben mich veranlasst, diesen Bericht zu schreiben. Auf Grund der Erfolge im Höhlentauchen bei langen Vorstössen z.B. von Buchaly/Waldbrenner oder Schafheutle/Kühn stellen diese Geräte für viele sogenannte Tec-Taucher, das High-End dar und dienen wohl oft zur Stärkung ihres Egos. Sie fühlen sich dank dem Gerät "taucherisch" auf derselben Stufe wie die „großen Jungs“. pSCRs sind sehr einfach aufgebaute Geräte, siehe Abschnitt Funktionsprinzip. Dies erlaubt es mit geringem Geräteverständnis Nachbauten herzustellen. Oft werden ohne Verständnis für die Funktionsweise und die Geräteproblematik Verschlimmbesserungen eingebaut. Die nächste Stufe ist dann, die Geräte ohne Einweisung an Drittpersonen zu verkaufen. Die Käufer haben oftmals ein noch kleineres Wissen über die Funktionsweise und Gefahren. Bis zum heutigen Tag haben wir zum Glück erst einen Toten. Ich denke es werden aber bald mehr werden. Es scheint, dass das Gerät einfach zu tauchen ist. Aber es hat seine Eigenheiten, welche den Taucher ins Jenseits befördern. Ziel dieses Berichtes ist es die Einsatzbereiche, das Funktionsprinzip und die Gefahren aufzuzeigen. Eine Schulung auf dem potentiellen pSCR wird durch diesen Bericht nicht ersetzt. Es sollte nach dem Lesen möglich sein, dem Verkäufer/Hersteller die richtigen Fragen zustellen und die Antworten kritisch zu hinterfragen.

Einsatzbereiche

Ein Kreislaufgerät sollte eingesetzt werden, wenn die logistischen Vorteile (Sicherheitsvorteile) die bauartbedingten Nachteile überwiegen. Ein Kreislaufgerät ist in erster Linie ein Gasverlängerungsapparat, d.h. kommt man mit offenem Gerät an den Anschlag, kann ein Kreislaufgerät den Taucher ein Stück weiter bringen oder die Sicherheitsreserve erhöhen.

Für mich waren die Vorstösse im Bätterich mit D20 und vier Stages (zwei mit Dekogas und zwei mit Travelmix) Ausschlag gebend. Schaut man meine aktuelle Konfiguration für den Bätterichtauchgang an, habe ich immer noch 3 Stages dabei. Der grosse Vorteil liegt für mich bei der deutlich grösseren Sicherheitsmarge, d.h. ich verbrauche noch ein paar hundert Liter Gas und tauche nicht mehr nach der Drittels-Regel beim Bottommix. Die Gasuhr tickt deutlich langsamer. Ich habe so ein besseres Gefühl während des Tauchgangs.

Nur ein kleiner Teil der Interessenten für ein pSCR wird dieses Gerät in der Höhle verwenden. Ihr Einsatzgebiet ist der tiefe Tauchgang im See oder Meer. Die Vorstellung mit zwei 4 Literflaschen und einem Kreislaufgerät in der Grösse einer 80cuf-Flasche locker einen 100m TG zumachen, ist verlockend. Leider geht dies nicht so einfach (Bailout und Tiefenbereich eines Gases). Wenn ich den pO₂ im optimalen Bereich halten und einen Gasausfall verkraften will, benötige ich mindestens fünf verschiedene Gase um auf 100m zu kommen (Gegenlungenverhältnis 1:13). Die Berechnung des open circuit (oc) Gasverbrauches für den Aufstieg von 100m überlasse ich dem Leser. Das Material auf Mann wird somit eher mehr als weniger.

Bei passive SCR Geräten in zylindrischer Bauart ist der Atemwiderstand von der Lageorientierung des Tauchers abhängig. Diese Geräte wurden für grosse, tiefe Höhlen entwickelt. In diesen Höhlen hängt der Taucher normalerweise hinter einem Scooter, d.h. der Taucher liegt horizontal. Verlässt man die horizontale Position verändert sich der Atemwiderstand stark. Bei einer kopf-nach-oben Haltung sinkt der Einatemwiderstand so stark, dass der Taucher aufgeblasen wird. Beim Ausatmen muss der Taucher stark pressen. In einer kopf-nach-unten Stellung sind die Verhältnisse umgekehrt. Beim Einatmen muss der Taucher stark saugen, das Ausatmen geht von alleine. In dieser Stellung ist es möglich, dass das Ausatemventil am Boden der Gegenlungen abbläst. Verlässt man die optimale Schwimmlage, müssen erhebliche

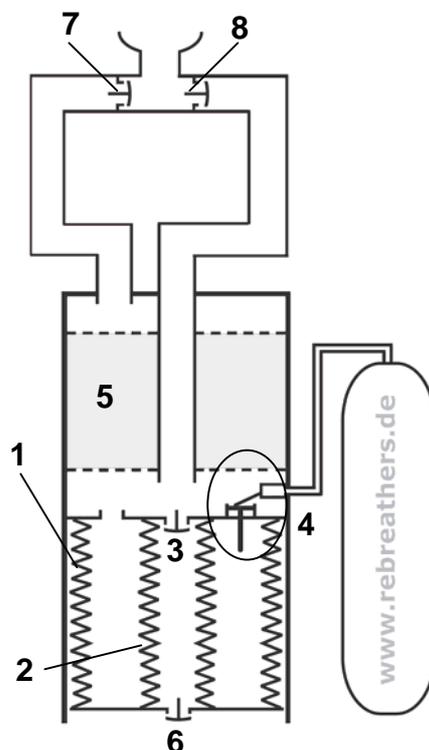
Nachteile im Atemkomfort hingenommen werden. Bevor man sich für die Anschaffung eines pSCRs entscheidet, sollte das ins Auge gefasste Gerät Probe getaucht werden, um bezüglich der Atemcharakteristika keine Enttäuschung zu erleben. Der Test sollte ebenfalls einige Minuten mit hoher Anstrengung enthalten, z.B. schnelles Schwimmen.

Doppelkreislaufgeräte sind eine Option, wenn es nicht anders machbar ist, z.B. kein Setup möglich, da die Höhle zu tief, zu lang ist oder kein geeignetes Team zur Verfügung steht. Das zweite Gerät muss sich selbständig dem Druck anpassen, d.h. bei zunehmendem Druck wird Gas eingespiessen, bei abnehmendem entweicht Gas. Das zweite Gerät muss jederzeit atembar sein. In Frankreich hat ein Tauchteam nur knapp überlebt, als ihr Hauptkreislaufgerät ausgestiegen ist. In das zweite Gerät wurde ein Gemisch mit einem zu hohen pO_2 für die aktuelle Tiefe eingespiessen.

Zusammengefasst würde ich sagen, dass pSCR sehr gute Gasexpander sind, und dass die Menge an benötigter Ausrüstung zunimmt. Der Wunsch ein kleines handliches Gerät für den Mittwochabend Tauchgang zu erwerben, wird somit nicht erfüllt.

Funktionsprinzip

Ein fester Anteil der Ausatemluft wird in einer kleinen Gegenlunge (2) geparkt, diese Gegenlunge ist fest mit einer grossen Gegenlunge (1) gekoppelt. Beim Einatmen wird die Luft in der kleineren Gegenlunge ins Wasser ausgestossen (6). Die Einatemluft passiert auf ihrem Weg zur Lunge den Absorber (5). Dort wird der Kohlendioxidanteil chemisch gebunden. Der durch den Ausstoss ins Wasser und die Bindungsreaktion am Absorber entstandene Volumenmangel wird durch frisches Gas kompensiert (4). Auf Grund der beschriebenen Funktionsweise findet eine Verschiebung der Atemgaszusammensetzung statt. Die Sauerstoffkonzentration im Atemkreislauf ist immer niedriger als im Speisegas. Sie ist jedoch nicht in jeder Tiefe gleich. Der Sauerstoffanteil steigt mit zunehmender Tiefe an. Es wird ein konstanter Volumenanteil des Atemzugs ins Wasser ausgestossen. Mit zunehmender Tauchtiefe nimmt die Dichte des Atemgases zu, d.h. es werden immer mehr Moleküle ins Wasser gestossen. Der Taucher verbraucht aber nicht mehr Sauerstoff(-Moleküle).



EAN35

Ratio	01:15		01:10		01:05		
	Tiefe [m]	FiO2KL	pO2KL	FiO2KL	pO2KL	FiO2KL	pO2KL
0		0.0	0.00	3.4	0.03	17.1	0.17
3		0.7	0.01	11.2	0.15	21.6	0.28
6		7.5	0.12	15.9	0.26	24.2	0.39
9		12.0	0.23	19.1	0.36	26.0	0.49
12		15.3	0.34	21.3	0.47	27.3	0.60
15		17.7	0.44	23.0	0.58	28.3	0.71
18		19.6	0.55	24.4	0.68	29.0	0.81
21		21.2	0.66	25.4	0.79	29.6	0.92
24		22.4	0.76	26.3	0.89	30.1	1.02
27		23.4	0.87	27.0	1.00	30.5	1.13
30		24.3	0.97	27.6	1.10	30.8	1.23
33		25.1	1.08	28.1	1.21	31.1	1.34
36		25.7	1.18	28.6	1.32	31.4	1.44
39		26.3	1.29	29.0	1.42	31.6	1.55
42		26.8	1.40	29.4	1.53	31.8	1.65
45		27.3	1.50	29.7	1.63	32.0	1.76
48		27.7	1.61	29.9	1.74	32.2	1.86
51		28.1	1.71	30.2	1.84	32.3	1.97

Die Atemgaszusammensetzung ist unabhängig von der Arbeitsleistung des Tauchers. Die Anpassung an einen erhöhten Sauerstoffbedarf des Tauchers bei Anstrengung erfolgt durch die Erhöhung der Einatemtiefe und der Atemfrequenz, die Gaszusammensetzung im Kreislauf wird dann nicht verändert. Die Tabelle zeigt den Sauerstoffanteil und den Sauerstoffpartialdruck im Atemkreislauf bei einem Gegenlungenverhältnis von 1:15, 1:10 und 1:5.

Atemwiderstand

Bei einer (leicht aufgerichteten) waagrechten Körperlage (=typische Schwimmlage hinter einem Scooter) befinden sich Gegenlunge und Lunge auf gleicher Tiefe und der Lungendifferenzdruck (LDD) ist vernachlässigbar. Wenn diese Lage geändert wird, kann der LDD auf Dauer unangenehme Werte (>30mbar) erreichen. Verzicht auf Scooter, schlechter Trimm oder die Notwendigkeit aufrechte oder gar über Kopf Lagen einzunehmen führen zu LDD-Belastungen des Tauchers. Ein LDD vergrößert die Einatemarbeit und verringert dabei im gleichen Masse die Ausatemarbeit bzw. umgekehrt. In der Summe (Einatemarbeit plus Ausatemarbeit) ändert sich die Atemarbeit durch ein LDD nicht. Die Atemmuskulatur wird belastet und über die Sogwirkung auf den Lungenkreislauf ebenfalls die rechte Herzkammer. Die Cardiopulmonale Leistungsfähigkeit des Tauchers bei Verwendung eines solchen Gerätes sollte sehr gut sein. Idealerweise kommen Scooters zum Einsatz.

Passive SCRs werden bisher ohne CE angeboten und eingesetzt. Erstens, lohnt sich für Kleinserien der Zertifizierungsaufwand/-kosten nicht. Zweitens, würden sie auf Grund ihrer systembedingten Loopcharakteristik (Gegenlungenanordnung) sehr wahrscheinlich keine CE Zertifizierung erhalten. Atemgrenzwerte für Lebenserhaltungssysteme sollten unabhängig der Lageorientierung des Tauchers nicht grenzwertig werden.

Gefahren

In diesem Abschnitt wird auf die Besonderheiten des Tauchens mit einem pSCR eingegangen. Das Tauchen mit einem Kreislaufgerät unterscheidet sich in einigen Punkten stark vom dem mit offenen Systemen (oc), dies führt zu Gefahren. Einige diese Gefahren bestehen für Kreislaufgeräte allgemein, andere liegen systembedingt nur bei pSCRs vor.

Gasauswahl

Bewegt man sich mit Trimix im erweiterten Sporttauchbereich (bis 75m) sind alle Gase von der Oberfläche her atembar, d.h. sie haben einen Sauerstoffanteil, der 16% oder mehr beträgt. Die Tabelle im Abschnittfunktionsprinzip zeigt deutlich, dass dies bei einem pSCR nicht der Fall ist. In Internetforen kann man lesen, dass sich diese Geräte wie oc tauchen, eine tödliche Fehlinformation. Ein Gemisch muss mindestens 50% Sauerstoffanteil haben (1:10), damit es an der Oberfläche atembar ist. Betrachtet man obiges Beispiel mit EAN35, ist nachvollziehbar, dass im GUE Rebreather Kurs I oc abgetaucht wird. Ich persönlich bin die ersten Tauchgänge nur mit EAN50 getaucht. Je grösser das Verhältnis des Durchmessers der grossen Gegenlung zum Durchmesser der kleinen ist, desto extremer wird die Schwankung des Sauerstoffanteils.

Überlebensstrategie: Kenne den Sauerstoffanteil im Kreislauf! Sensor und Berechnungsprogramm vom Hersteller.

Will man tiefer tauchen, werden Gaswechsel nötig. Wie in der Einleitung geschrieben, müssten für einen 100m-Tauchgang 5 verschiedene Gase mitgeführt werden. Offen kann man einen Bounce mit 3 Gasen durchziehen, dafür ist aber ein pSCR nicht geeignet. Es muss das volle Programm an Gasen mitgenommen werden, wie wenn man oc eine lange Grundzeit tauchen würde.

Bailout: Die Tabelle im vorhergehenden Abschnitt zeigt, dass ein EAN35 bei einem Gegenlungenverhältnis von 1:10 in etwa einem EAN28 entspricht. Der Sauerstoff-Partialdruck (pO_2) von 1.4bar wird auf 39m erreicht. Muss auf das Bailout gewechselt werden (offen), wird ein EAN35 auf 39m geatmet. Dies ergibt einen pO_2 von 1.72bar! Durch das offen geatmete Bailout wird die maximale Tiefe des Gemisches eingeschränkt. Wird im Notfall ein pO_2 von 1.6bar akzeptiert, darf mit diesem Gemisch auf maximal 35m getaucht werden. Im normalen Betrieb beträgt dann der pO_2 1.28bar. Ein EAN35 kann bei einem Verhältnis von 1:10 zwischen 21m und 35m als EAN28 getaucht werden. Wird dieser Tiefenbereich verlassen, muss ein Gaswechsel oder ein Wechsel auf das offene System statt finden.

Überlebensstrategie: Kenne den Einsatzbereich der Gemische, beachte insbesondere den pO_2 des Bailouts! Berechnungsprogramm vom Hersteller, Grundlage des Nitroxtauchens.

Gasdynamik (Aufstieg, Abstieg)

Der Abstieg stellt kein ernsthaftes Problem dar. Man muss sich bewusst sein, dass vermehrt neues Gas eingespiessen wird und der Sauerstoffanteil für eine zeitlang höher, als des berechnete Gleichgewicht ist. Dies stellt kein Problem dar, wenn man keinen grenzwertigen Sauerstoffpartialdruck taucht.

Der Aufstieg ist deutlich kritischer. Durch den abnehmenden Druck nimmt das Volumen im Kreislauf zu. Nun ist es möglich, dass man immer das gleiche Gas atmet, d.h. es wird kein frisches Gas eingespiessen. Der Sauerstoff im Kreislaufgerät wird natürlich verbraucht. Ich denke, es ist ein friedlicher Tod, man wird müde und dämmert davon.

Überlebensstrategie: Kenne den Sauerstoffanteil im Kreislauf! Sensor. Spülen

Gaswechsel

Taucht man offen, besteht nur eine Gefahr: Verwechslung der Flaschen. Mit den Swagelok-Kupplungen sieht dies anders aus. Ich erachte das Risiko vergleichbar mit der Situation, wenn man jeweils die zweite Stufe auf eine neue Stage wechselt. Die Gasversorgung wird getrennt, und eine neue Verbindung wird (unter Druck) hergestellt. Die Verbindung wird nicht immer im ersten Versuch funktionieren. Es besteht die Möglichkeit, dass der Teil der Kupplung an der Stage verschmutzt ist. Wenn man diesen ungereinigt an das Kreislaufgerät anschliesst, bleibt wohl nur noch den Wechsel aufs Bailout. Ebenfalls ist es auf Grund des Druckes möglich, dass die Kupplung nicht sauber schliesst. Ein Gaswechsel stellt somit einen der kritischsten Momente während des Tauchgangs dar.

Überlebensstrategie: Kontrolle der Kupplung, Bailout ist einsatzbereit, üben, üben.

Richtungsventile

Das Richtungsventil (3), welches die kleine Gegenlung abschliesst, ist ein lebenswichtiges Bauteil. Ist dieses Ventil defekt, entsteht eine Pendelatmung. Der verbrauchte Sauerstoff wird ersetzt, aber mit einem Gas, welches nicht aus 100% Sauerstoff besteht. Der Sauerstoffanteil wird unter die lebenserhaltende Grenze fallen.

Überlebensstrategie: Kenne den Sauerstoffanteil im Kreislauf! Sensor und höre das Gerät arbeiten, Pre-Dive-Checks. Ausbildung.

Fällt eines der Richtungsventil im Atemschlauch (7,8) aus, wird der Kalk ausgeschaltet und somit das CO₂ nicht abgebaut, die Auswirkungen sind gleich wie bei ungenügender Absorberwirkung (Kalk). Der CO₂ Anteil steigt im Atemkreislauf an.

Überlebensstrategie: Versichere dich, dass das Gerät korrekt funktioniert! Pre-Dive-Checks, Ausbildung.

Weiter bestehen alle Gefahrenmomente, die ebenfalls jedes andere Kreislaufgerät für den Taucher bereit hält. Dazu zählt: Wassereintrich und ungenügende Kalkwirkung (z.B. Kanalbildung, zu kleine Kalkmenge, Kalkstandzeit).

Überlebensstrategie: Versichere dich, dass das Gerät korrekt funktioniert und halte die Kalkstandzeiten ein! Ausbildung.

Ich hoffe, dieser Bericht hat aufgezeigt, dass pSCR geeignet sind um lange, tiefe Tauchgänge durchzuführen, welche ohne ein Kreislaufgerät nicht machbar wären. Will man das Gerät für seine alltäglichen Tauchgänge einsetzen, muss sich jeder überlegen, ob es das erhöhte Risiko wert ist. Der Gasverbrauch ist geringer, wenn alles rund läuft. Muss auf das Bailout gewechselt werden, wird für das Austausch die gleiche Menge an Gas wie offen benötigt. Schon bei einem Verhältnis der Gegenlung von 1:10 ist der atembare Bereich eines Gemisches stark eingeschränkt. Es müssen im Vergleich zu oc mehr verschiedene Gas verwendet werden. Die Tauchausrüstung wird somit nicht weniger, sondern mehr.

Das Gerät ist einfach aufgebaut und das Tauchen scheint ebenfalls problemlos zu sein. Aber ohne Einführung in die Geräteproblematik und ein paar Trainingstauchgänge, stellt ein passiv Semi Closed Rebreather eine unberechenbare Gefahr dar. Die wichtigsten Probleme sind in diesem Bericht erläutert. Der Verkäufer wird sicher genau erklären und demonstrieren, wie man diesen Gefahren begegnet.

Quellen: eigene Erfahrung, Manual RECY'01, Diskussionen auf der Tec-Liste, z.B. Jürgen Poniatowski (LDD),
Prinzipskizze: www.rebreathers.de

