



REBREATHERS



A study on the behaviour of passive addition, RMV-keyed SCR / Introduction



V1.1/18.3.06

von
Beat A. Müller



REBREATHERS



Ziel und Zweck einer parametrischen Studie

Die vorliegende Arbeit ist eine PARAMETRISCHE STUDIE, d.h. es geht hier überhaupt nicht um die Genauigkeit nach dem Dezimalpunkt, sondern vielmehr darum,

- a) die verschiedenen Einflussgrößen (Parameter) aufzuzeigen
- b) und ihre Beziehungen zueinander mathematisch zu formulieren
- c) die numerischen Ergebnisse in Form verständlicher graphischer Darstellungen im Sinne von TRENDS für den mathematisch unverbildeten Leser aufzuzeigen

Gerade weil einige Parameter in Abhängigkeit vom Anwender und dessen Tagesform stark variieren können (z.B. AMV, K_E) ist es umso wichtiger, aufzuzeigen, welche Folgen dies z.B. TENDENZIELL auf den Verlauf des p_{O_2} haben kann.

Da es um eine *parametrische* Studie geht, ist die ganze Problematik der Handhabung bewusst ausgeklammert. Dies ist ein Thema für die Ausbildung und eine parametrische Studie kann per Definition keine Kursunterlage sein!

Es ist auch nicht die Aufgabe einer solchen Studie, den GMV (gesunder Menschenverstand) bei der Interpretation der Resultate zu ersetzen.



REBREATHERS



Haftungsausschluss / Disclaimer

Der Autor hält ausdrücklich fest, dass die vorliegende Arbeit, insbesondere die präsentierten Berechnungsverfahren, eine theoretische Studie darstellt und trotz aller Sorgfalt noch Fehler enthalten kann, sei dies in gedruckten Text, in den numerischen Resultaten oder den graphischen Darstellungen.

Das in einem ersten Schritt verwendete Modell ist ein sehr stark vereinfachtes. Nichtsdestotrotz wird es überall wegen der mathematischen Einfachheit herangezogen (s. Internet). Für grundsätzliche Aussagen genügt es vollkommen. Es ist absurd, wenn selbsternannte Gurus dieses Modell als *falsch* bezeichnen, gleichzeitig aber O₂-Drop Tabellen publizieren, die exakt auf diesem *angeblich falschen* Modell basieren.

Verfeinerte Modelle sind bereits in Erarbeitung und werden zu gegebener Zeit vom Autor präsentiert.

Alle Schlussfolgerungen, die der Leser aus der Studie zieht und alle Handlungen, die er darauf basierend vornimmt, tut er auf eigene Gefahr. Der Autor lehnt jegliche Haftung ab.

Die Studie selber stellt keine Ausbildung für SCR Geräte dar und ersetzt keinen gerätespezifischen Ausbildungskurs.

Die Studie stellt keine Aufforderung dar, mit SCR zu tauchen.



REBREATHERS



Gliederung

- **Einführung**

**Haftungsausschluss / Disclaimer
Über den Autor
Management-Summary
Terminologie (Lexikon)**

- **Teil 1: Gliederung, Aufbau, Komponenten und Funktion von passiven, AMV-gesteuerten SCR mit konstantem Auswurfvolumen**
- **Teil 2: Rechnerische Untersuchung zu den physikalischen Besonderheiten**
- **Teil 3: Auslegung für tiefenkompensierten, variablen Auswurf**
- **Teil 4: Anatomie eines SCR-Unfalls**
- **Teil 5: Vergleich Rechnung - Messungen**



REBREATHERS



Zum Autor / about the author



Name: Beat A. Müller

Beruf/Prof.: Dipl. Masch. Ing. ETHZ / Msc. (Mech. Eng.)
Freelance-research associate of Prof.Dr. A.A.Bühlmann
during late `80s (high altitude diving experiments and `86-
air-diving and flying after diving table calculations)

Taucherischer Status / Diving status:

- Nationaler Tauchinstruktor (4-star instructor) CMAS
- Cave Diving Staff Instructor CMAS.CH
- NAUI Course Director

Jetzige Funktionen / current positions:

- president Swiss Cave Diving
- head cave diving section CMAS.CH
- head CMAS Dive Diving Working Group
- member CMAS TC

Kontakt / Contact:

btmueller@bluewin.ch

www.swiss-cave-diving.ch



REBREATHERS



Management-Summary: Die Lehren aus Teil 2 und Teil 4

1. Jeder Rebreather-Typ hat seine ganz spezifischen, physikalisch begründeten Eigenheiten, die der Benutzer zwingend kennen muss.
2. Alle Rebreather erfordern ein tief gehendes, technisches Verständnis und theoretisches Fachwissen, ohne aber gleich Ingenieur sein zu müssen.
3. Alle Rebreather erfordern eine sorgfältige Grundausbildung und eine Schulung auf dem benutzten Typ (s. neue CMAS-Kurse), sowie eine pedantisch sorgfältige Handhabung und Wartung.
3. Alle Rebreather erfordern eine sorgfältige TG- UND Notfall-Planung.
4. Alle Rebreather erfordern eine peinlich genaue und permanente Ueberwachung des aktuellen p_{O_2} im Loop.
5. Das Konzept der Spülung beim Aufstieg muss vom Anwender verinnerlicht worden sein!
6. Bei passiven, AMV-gesteuerten SCR ohne Tiefenkompensierung ist gerade der *Flachwasserbereich* der gefährliche Teil. Die kritische Minimale Operation Depth muss dem Anwender bekannt sein !
7. Oberhalb dieser Tiefe muss zwingend offen getaucht werden!
8. Die Einhaltung ALL dieser Regeln gibt Dir immer noch KEINE Garantie.....



REBREATHERS



Terminologie (1)

OC	Open-Circuit (Modus, System); offenes system, bei dem die gesamte ausgeatmete Gasmenge in die Umgebung abge-geben wird und damit verloren ist.
RB	ReBreather ; Kreislaufgerät (allgem. Bezeichn.); ein voll-ständig geschlossenes (CCR) oder reduziert-/halb-offenes (SCR) System, bei dem im System ein Gemisch aus Aus-atemgas und frischem Speisegas zirkuliert und wo das aus-geatmete CO2 chemisch abgebunden wird.
CCR	Closed Circuit Rebreather ; vollständig geschlossenes System, Gas wird nur bei bei Ueberdruck im Atembeutel (Gegenlunge) über ein Ventil an die Umgebung abgegeben.
OCCR, O2CCR	Oxygen Closed Circuit Rebreather ; vollständig geschlossen-es System, bei dem das Speisegas ausschliesslich reiner Sauerstoff ist. Tiefenmässig auf ganz kleine Tiefen begrenzt.
MCCR	Mechanically (controlled) Closed-Circuit Rebreather
ECCR	Electronically (controlled) Closed-Circuit Rebreather
LV-CCR	Liquid Ventilation CCR ; CCR mit Flüssigkeitsatmung; meist auf Fluorbasis, zB. „Liquivent“ von Höchst; Experimente 1994 eingestellt.



REBREATHERS



Terminologie (2)

SCR	Semi-Closed Rebreather ; halboffenes System, bei dem mit je-dem Atemzug ein Anteil (Auswurfvolumen) wieder in die Umgeb-ung abgegeben wird. Anteil ist entweder konstant oder variabel (sog. Tiefenkompensation).
PASCR	Passive Addition Semi-Closed Rebreather ; allgemein Bezeichnung für SCR , bei dem die Zuführung des Speisegases bedarfsabhängig, d.h. lungenautomatisch erfolgt, <i>nicht</i> durch einen konstanten Massenstrom.
DC PA.. SCR	Depth Compensated Passive Addtion SCR ; SCR mit passiver, tiefenabhängiger Zuführung.
PVRBA ...SRC	Passive Variable Ratio Biased Addition...SCR ; im wesentlichen dasselbe wie DCPA... , denn das variable Verhältnis ergibt sich zwangsläufig aus der Tiefenabhängigkeit und dem Atemrhythmus des Tauchers.
CMF....	Continuous Mass Flow ; konstanter, tiefenunabhängiger Zufluss des Speisegases mittels (pro Gasmischung) kalibriertem Düsen-ventil (FCV , auch CMF-nozzle); meist verbunden mit einer manuellen Uebersteuerung (manual override, MAV).



REBREATHERS



Terminologie (3)

DC	Depth Compensated/Compensation (tiefenkompensiert) aber auch verwendet für Diver Controlled (vom Taucher kontrolliert). Bei SCR meist verwendet in Bezug auf das Auswurfvolumen (dump volume): fixed ratio (konstantes Auswurfvolumen) oder tiefenabhängig variabel. Kann aber auch für die Zuführungsseite verwendet werden.
FCV	Flow Control Valve ; kalibrierte Düse (Ventil), welche – ausgelegt für ein bestimmtes Gas - einen definierten Massenstrom durchlässt (s. CMF).
DSV	Dive / Surface Valve ; Mundstück, ggf. umschaltbar (mit angebauter 2. Stufe) auf offenes (OC) Bailout –System.
OP(R)V	Overpressure (Release) Valve ; Ueberdruckventil, dass verhindert, dass sich im Atembeutel (Gegenlunge), resp. im Gesamtsystem ein Ueberdruck gegenüber der Umgebung aufbaut; ist meist auf 5 bis 10mbar eingestellt.
DV	Dump-Valve ; automatisches oder manuelles Ventil, durch das Gas an die Umgebung abgegeben wird (z.B. aus dem exhalation bag). Gleichzeitig meist auch OP(R)V . Meist federbelastet mit definierter Anpresskraft (bei SCT meist zw. 5....10mbar)
NRV	Non-Return Valve , oft auch check-valve genannt ; Einweg-, resp. Rückschlagventil, dass ein Zurückströmen eines Mediums (Gas, Flüssigkeit) verhindern soll. Meist einfaches Teller-/Flatterventil.



REBREATHERS



Terminologie (4)

check-valve	s. Non Return Valve, NRV ; Einweg-/Rückschlagventil, z.B. im Mundstück (DSV) und in der Gegenlung (CL). Meist als Pilzventil ausgelegt (mushroom valve)
(D)AV	(Diluent) Add/Addition Valve ; allgem. Bezeichnung des (D)AV .
ADV	Automatic Diluent Valve ; Automatische Version des (D)AV zur zusätzlichen Einspeisung von Gas ins System. Regelung lungenautomatisch oder als konstant-Massenstrom (CMF).
MAV	Manual Addition Valve (manual override); Manuell betätigtes Ventil zur zusätzlichen Einspeisung von Gas ins System.
CL, bellows, breathing bag	Counterlung (auch „bellows“); Gegenlung; meist als elastische Faltenbälge aus Nylon, Polyurethan etc. konstruiert. Bei SCR 2 separate Gegenlung: die Eine (grössere) für Einatmung (inhalation), die andere (kleinere) für die Ausatmung (exhalation) und Abgabe via dump valve (DV) in die Umgebung.
(CO₂-) Absorber, Scrubber (-canister)	Filter(patrone) oder auch Filtermaterial (Chemikalie), welches das CO ₂ des Ausatemgases chemisch bindet. Dabei entstehen Wasser und Wärme. Meist werden Verbindungen aus Ca(OH) ₂ = Calciumhydroxid sowie Natriumhydroxid (NaOH) und Kaliumhydroxid (KOH) verwendet. Gängige Trademarks: <i>Sofnolime, Sodorb, Amsorb, Spherasorb, Drägersorb, Granular Sodalime, Baralyme, SofnoKalk, Divesorb</i>



REBREATHERS



Terminologie (5)

Diluent	Verdünnungs-(gas), Speisegas; kann sowohl fertiges atembares Gemisch, wie ein für sich allein nicht atembares Verdünnungsgas, das erst im System gemischt wird, gemeint sein.
FFM	Full Face Mask ; Vollgesichtsmaske, die durchaus auch mit einem CCR oder SCR verbunden werden kann
HUD	Head-Up Display ; kleine, meist am DSV montierte Anzeige (digital oder farblich mittels LEDs) von wichtigen Systemwerten oder Betriebszuständen (p_O2, etc.). Permanent im Blickfeld.
WOB	Work of Breathing ; Atemarbeit, ist hauptsächlich eine Funkt. der Gasdichte, der mechanischen Widerstände im Atemsystem, Strömungswiderstände und des RMV/AMV , sowie der relative Lage der Gegenlunge zur Lunge des Tauchers
RMV	Respiratory Minute Volume ; AtemMinutenVolumen AMV , meist angegeben in Liter pro Minute bei 1 bar (Oberfläche).
dump volume, dumped gas	Das in die Umgebung abgegebene Gas aus dem System; bei CCR nur via Ueberdruckventil (OPV). Bei SCR kontrolliert über die „Ausatemlunge“ (exhalation bellows/bag) und dessen dump valve (DV).



REBREATHERS



Terminologie (6)

Loop	Als Loop bezeichnet man den gesamten Atemkreislauf, also die Gegenlungen (counterlungs, CL), Faltenschläuche (breathing hoses), Atemkalk-Behälter-System (CO2 Absorber Canister -System) und das Mundstück (DSV) mitsamt der Einweg-/ Richtungsventile (mouthpiece with upsteam and downstream check valves). Also alle atemgasgefüllten Teile des Kreislaufes.
bailout	Entweder ein offenes (OC) Notfallsystem oder ein 2. Rebreather (BOB) . Nicht zu verwechseln mit zusätzlich mitgeführten Systemen (Stage-Flaschen) für Gaswechsel unterwegs oder für die Dekompression. Im Fall des OC entweder als völlig separat mitgeführtes System oder direkt verbunden mit einer eingebauten 2. Stufe am RB-Mundstück (DSV) und dort umschaltbar.
BOB	Bailout Rebreather ; 2. Rebreather in einer Zweier- RB Konfiguration; nur für Notfälle eingesetzt.
MOD	Maximum Operation Depth ; maximale Einsatztiefe eines Atemgases. Muss für ein Atemgasgemisch jeweils für O2 UND alle Inertgase darin berechnet werden. Die MOD des Gemisches ist der jeweils kleinste Wert.
EAD	Equivalent Air Depth ; äquivalent Lufttiefe, bezogen auf den N2-Partialdruck. Dies ist diejenige Tiefe, bei der Luft dieselbe p_N2 aufweisen würde, wie das verwendete Gasgemisch.



REBREATHERS



always remember:
**Rebreathers can kill
YOU!**