Grundlagen Rebreather- Wissen

Was ist ein Rebreather?

Grundlagen

- Der menschliche Körper verbraucht zur anabolischen Versorgung Sauerstoff
- Inertgase dienen ausschließlich als Füllgase und nehmen nicht an den chemischen Reaktionen im Körper teil
- Der Sauerstoffverbrauch liegt zwischen 0,3 l/min (Ruhezustand) und 2,5 l/min (sehr starke Aktivität)
- Bei der chemischen Reaktion zwischen Sauerstoff und der vom Körper bereitgestellten Glukose entsteht CO_2

Was ist ein Rebreather

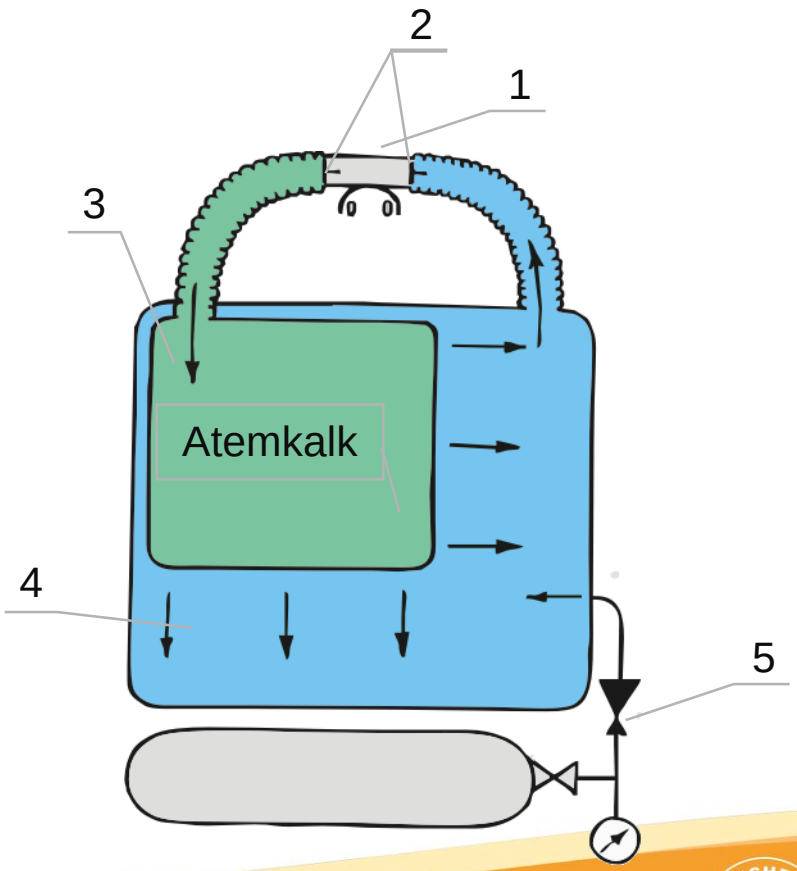
Aufgaben eines Rebreathers

- Ausreichende Versorgung des Tauchers mit Sauerstoff
- Minimieren des Gasverbrauchs durch Wiederaufbereitung der Atem Gase in einem Kreislauf
- Bereitstellung ausreichender Volumen-Mengen an Atem Gas
- Eliminierung des CO_2 über einen Atemkalk-Absorber aus dem Kreislauf

Was ist ein Rebreather

Grundprinzip eines Kreislaufgerätes

1. Das Mundstück ermöglicht das Atmen und schließt bei Nichtgebrauch den Kreislauf wasserdicht ab
2. Durch Richtungsventile wird der Kreislauf in eine Ein- bzw. Ausatemseite geteilt
3. Der Atemkalk filtert das CO_2 aus der Ausatemluft
4. Die Gegenlunge fängt die Ausatemluft auf und wirkt so als Volumenausgleich
5. Über Bypass, Konstantflow oder Magnetventil wird dem Kreislauf frisches Atemgas wieder zugeführt



Was ist ein Rebreather

Verschiedene Arten

Halbgeschlossene Rebreather (SCR)

- **Aktive SCR**: Hier wird über ein Konstant-Flow immer so viel Nitrox eingespeist, dass eine ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet ist. Der Gasverbrauch ist von Tiefe und Atemfrequenz unabhängig, der pO_2 schwankt jedoch je nach Arbeitsleistung
- **Passive SCR**: Durch ineinander liegende Bälge wird immer ein Teil des Atemgases aus dem Kreislauf abgelassen und durch frisches Gas ersetzt. Atemfrequenz und Tiefe haben Einfluss auf den Gasverbrauch und pO_2 schwankt je nach Tauchtiefe
- **Elektronisch SCR**: Ähnlich einem eCCR wird der Kreislauf mit Sensoren überwacht und über ein Magnetventil die optimale Menge an Nitrox eingespeist. Durch Variation der Gaseinspeisung wird für Nullzeit und Gasverbrauch ein optimaler pO_2 im Kreislauf hergestellt.

Was ist ein Rebreather

Verschiedene Arten

Geschlossene Rebreather (CCR)

- **Sauerstoff-Kreislaufgerät**: Über einen Bypass wird 100% Sauerstoff dem Kreislauf zugeführt. Daher steht dem Taucher reiner Sauerstoff als Atemgas zur Verfügung. Soll der pO_2 von 1,6 bar nicht überschritten werden, darf mit diesen Geräten nicht tiefer als 6 m getaucht werden.
- **Manuelle CCR**: Über einen Kontant Flow wird permanent etwa 0,8 l Sauerstoff dem Kreislauf zugeführt. Über einen Bypass wird zusätzlich Verdünnungsgas (Diluent) eingespeist, damit dem Taucher immer ausreichend Atemgas zur Verfügung steht. Über Sensoren wird der pO_2 überwacht. Reicht der über den Flow eingespeiste Sauerstoff nicht aus, wird er manuell zugeführt.
- **Elektronische CCR**: Bei elektronischen Rebreathern wird der pO_2 permanent über Sensoren überwacht und bei Bedarf Sauerstoff über ein Magnetventil eingespeist. Wie beim mCCR wird über einen Bypass Diluent eingespeist.

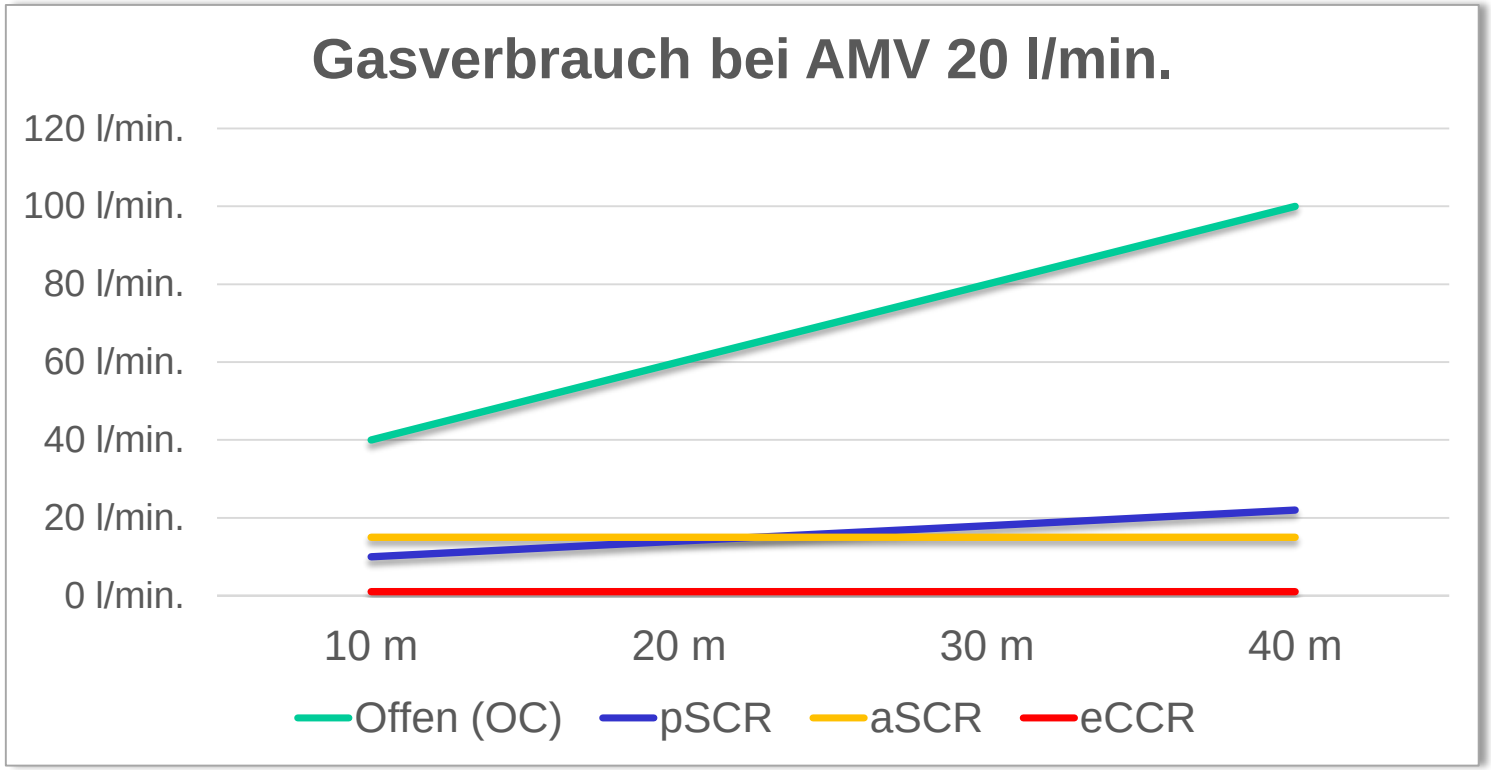
Was ist ein Rebreather

Vergleich des Gasverbrauchs

Tiefe Meter	Gasverbrauch bei AMV 20 l/min.			
	Offen (OC)	pSCR	aSCR	eCCR
10 m	40 l/min.	ca. 10 l/min.	8 - 15 l/min.	1 l/min.
20 m	60 l/min.	ca. 14 l/min.	8 - 15 l/min.	1 l/min.
30 m	80 l/min.	ca. 18 l/min.	8 - 15 l/min.	1 l/min.
40 m	100 l/min.	ca. 22 l/min.	8 - 15 l/min.	1 l/min.

Was ist ein Rebreather

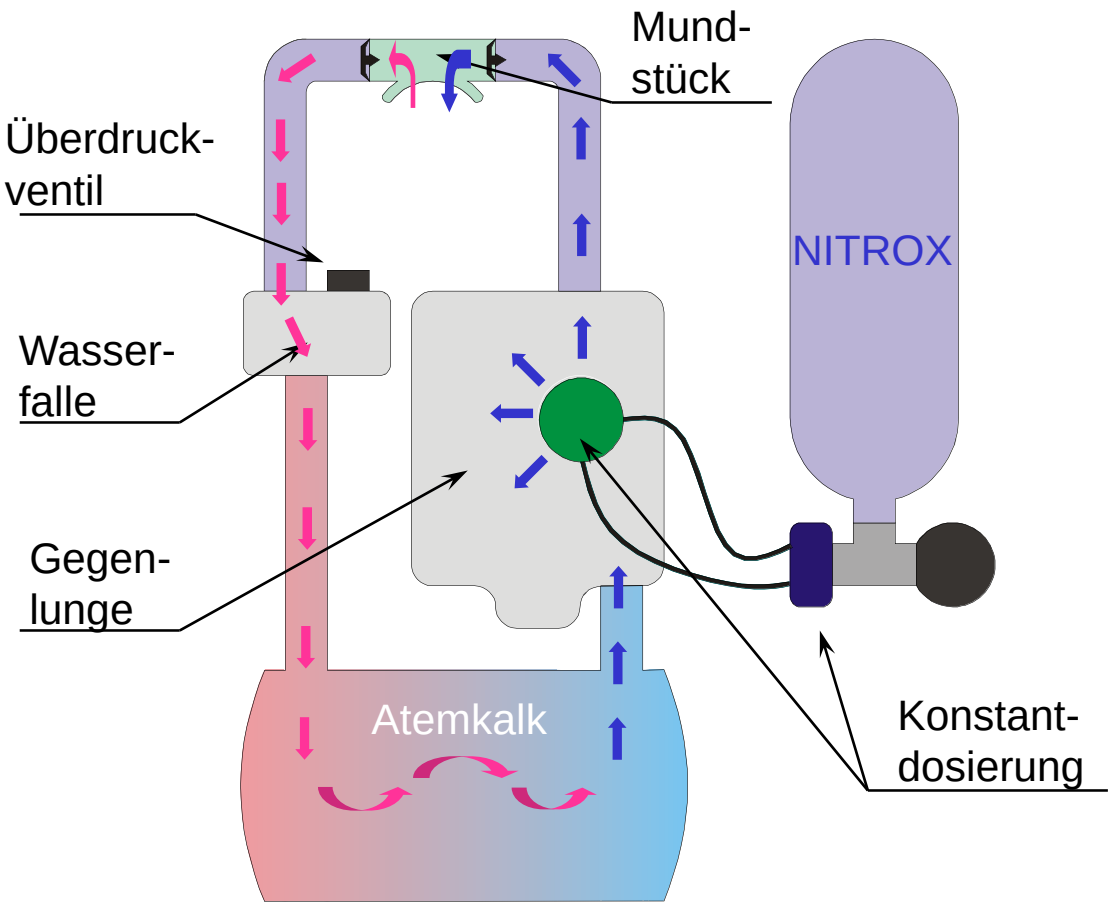
Vergleich des Gasverbrauchs



Merkmale

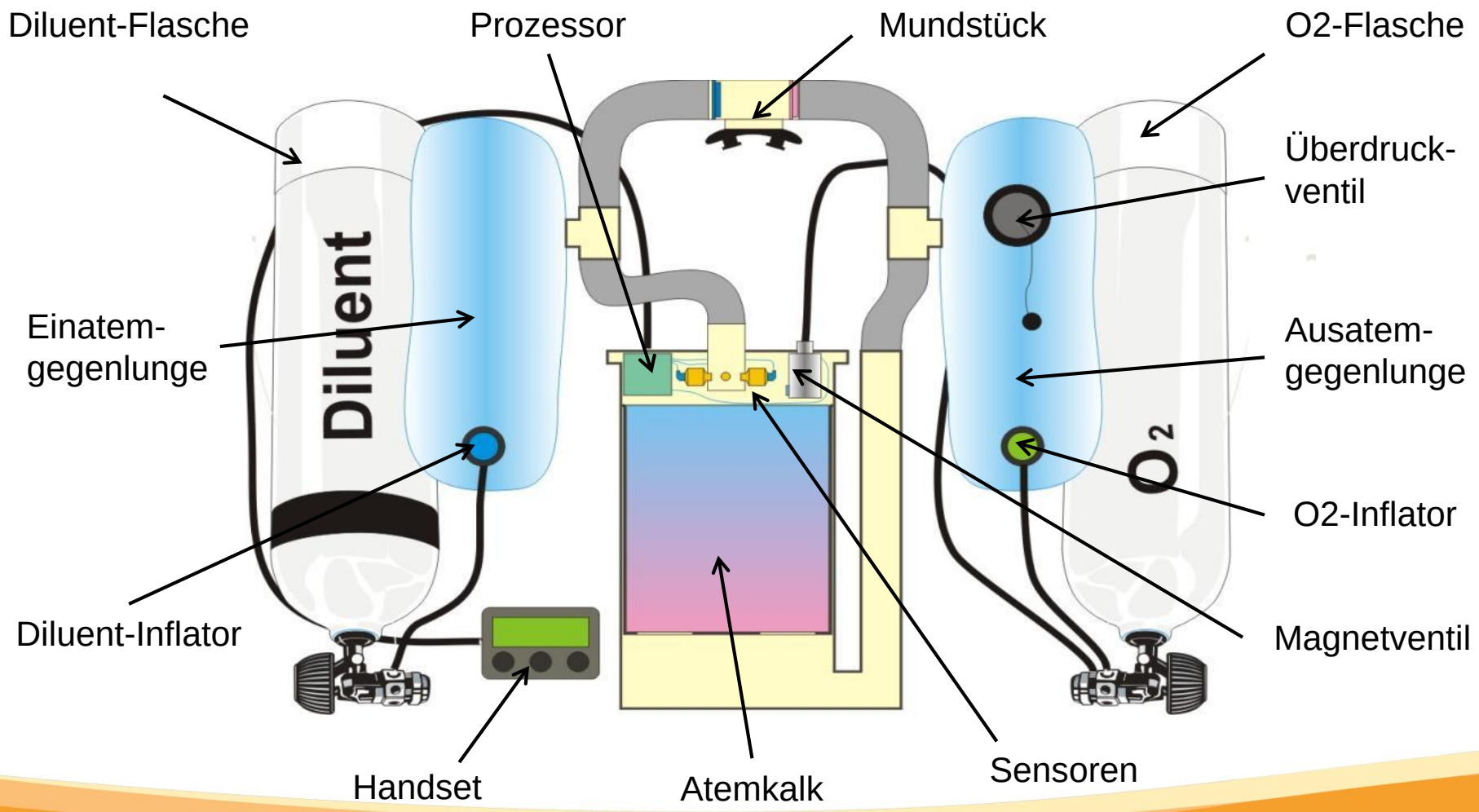
- Keine beziehungsweise geringe Blasen und Geräusche
- Ökonomischer Gasverbrauch
- Warmes Atemgas und dadurch geringerer Wärmeverlust
- Minimierung der Kosten bei der Nutzung mit Mischgasen wie z.B. TRIMIX
- Geringere Inertgasaufsättigung durch höheren pO_2
- Effektivere Dekompression durch überproportionale Reduktion des Inertgaspartialdrucks

Aufbau und Funktion eines SCR

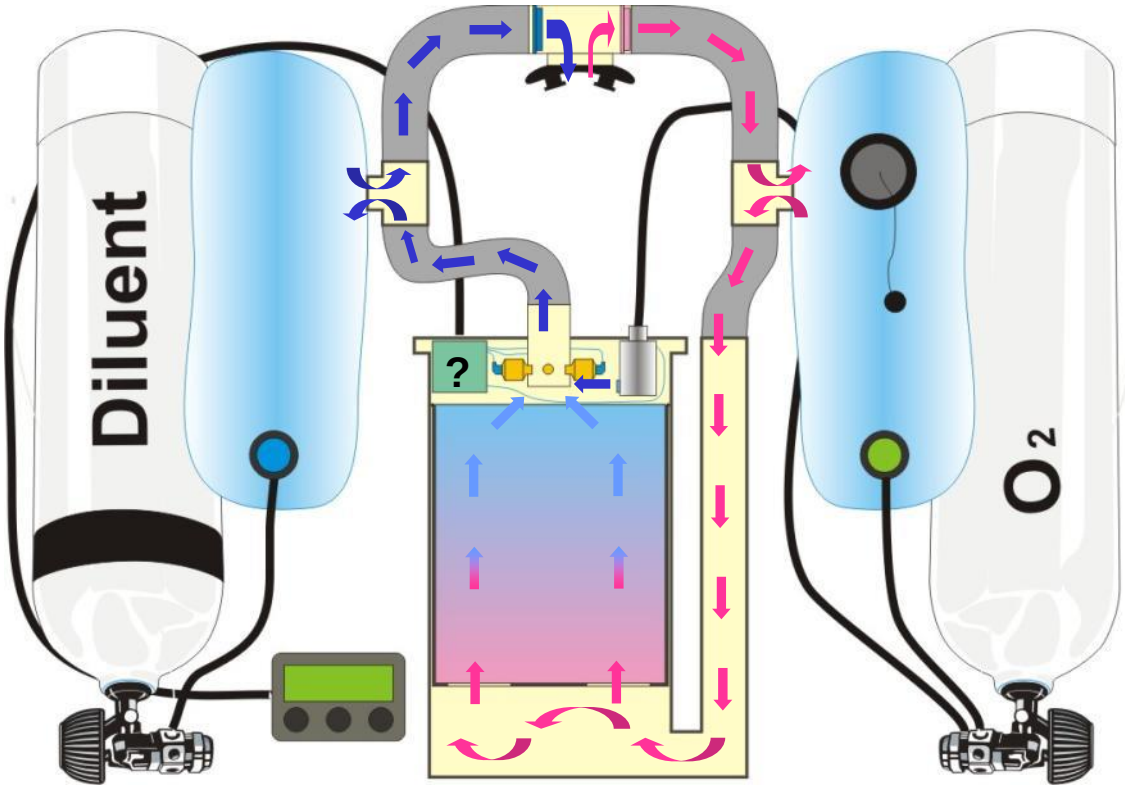


- Ausatmung
- CO_2 Absorption
- Nitrox Einspeisung
- Einatmung

Aufbau und Funktion eines eCCR



Aufbau und Funktion eines eCCR



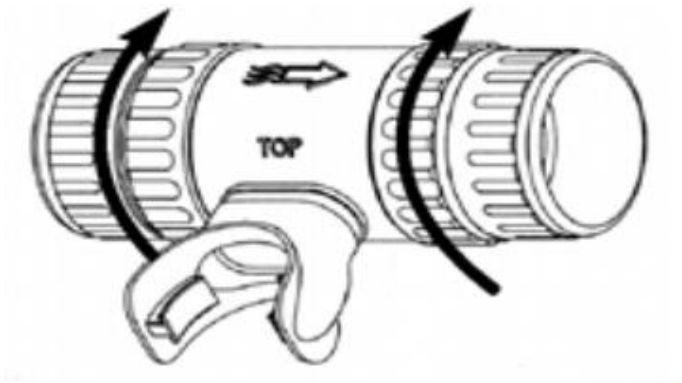
- Ausatmung
- CO_2 Absorption
- Sauerstoffmessung
- Analyse des pO_2
- O_2 Einspeisung
- Einatmung

Mundstück mit Richtungsventilen

- Richtungsventile zur Steuerung
  der Fließrichtung des Atemgases im Kreislauf

- Verschluss des Mundstücks über eine Drehwalze, um bei dessen Herausnehmen das Eindringen von Wasser zu verhindern

- Bei Wiederaufnahme des Mundstücks kann das Wasser im Mund durch Ausblasen über einen Ausblaskanal eliminiert werden



Gegenlungen

- Die Gegenlungen fangen bei der Ausatmung das Atemgas auf
- Dabei gleichen sie über flexibel Atembeutel die durch die Atmung im Kreislauf entstehenden Volumenverschiebungen aus
- Die Gegenlungen fungieren auch als großvolumige Wasserfallen

Atemkalk

- Beim Stoffwechsel wird im Körper Sauerstoff mit freigesetzter Glukose „verbrannt“. Es entsteht dabei unter anderem CO_2
- Wird das CO_2 nicht aus dem Atemkreislauf entfernt, erleidet der Taucher eine CO_2-Vergiftung (Hyperkapnie)
- Über den Atemkalk wird das anfallende CO_2 neutralisiert

Funktion des Atemkalks

Nassphase:

- $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$
- $H_2CO_3 + 2\ NaOH = Na_2CO_3 + 2\ H_2O$ + Wärme

Trockenphase:

- $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + 2\ NaOH$

Summarisch:

- $CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3 + H_2O$ + Wärme

Standzeiten des Atemkalk

Einflussfaktoren für den Wirkungsgrad des Atemkalks

- Menge des anfallenden CO_2/min
- Temperatur des Kalks (Reaktion ist warm bessere als kalt)
- Korngröße des Kalks (feiner Kalk bindet mehr als grober)
- Kalksorte
- Qualität der „Packung“ im Kalkbehälter
- Feuchtigkeit

Atemcharakteristik

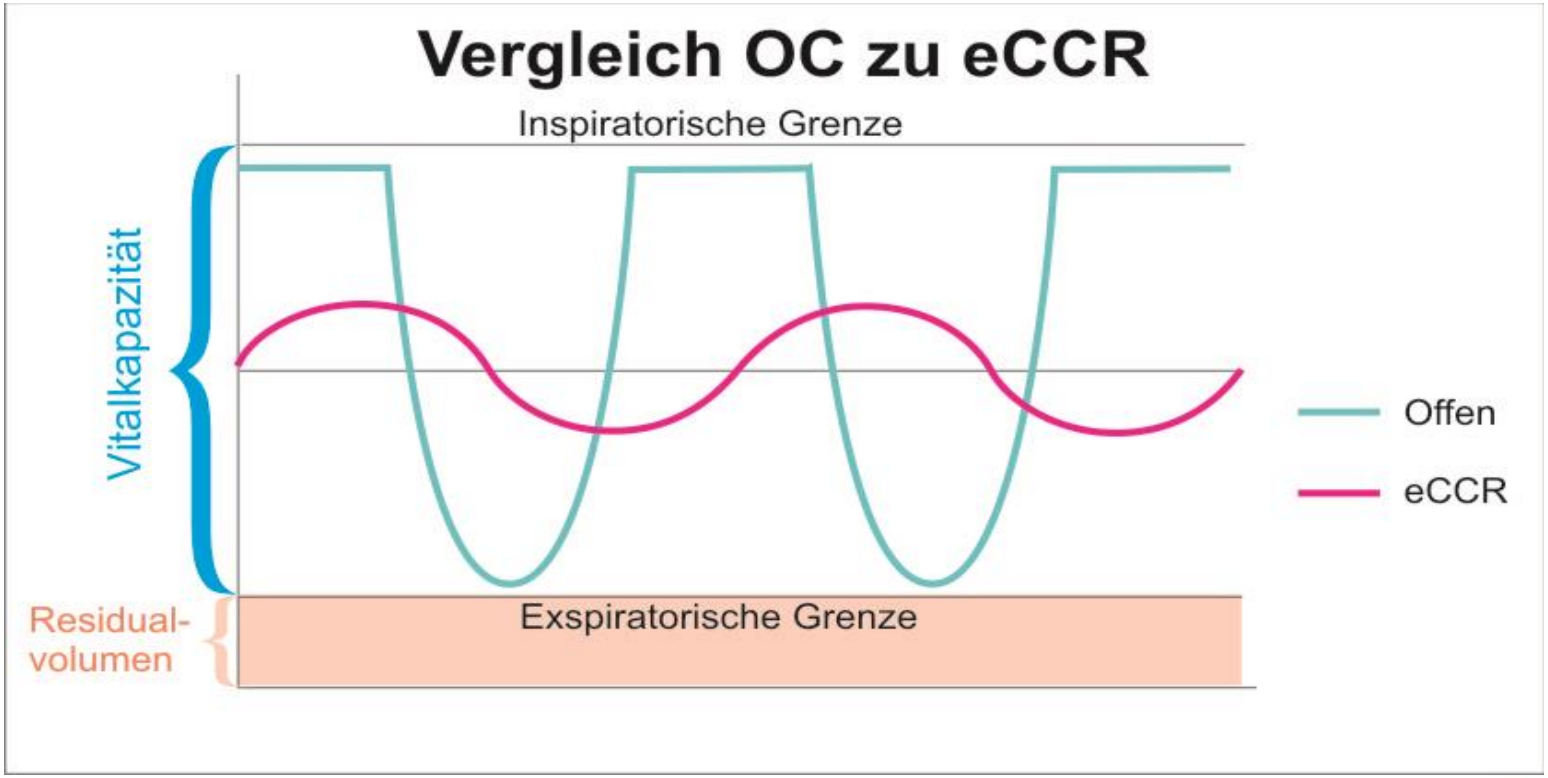
OC-Taucher atmen kurz aus und sofort wieder tief ein und halten dann die Luft mehr oder weniger lang an

Diese Atemtechnik ist für eCCR-Taucher ungeeignet:

- Durch Sparatmung kann man beim eCCR kein Gas sparen
- Durch Luftanhalten sammelt sich vermehrt CO_2 und belastet den Atemkalk stoßweise und nicht kontinuierlich
- Durch die erhöhten CO_2-Spitzen könnte das CO_2 durch den Kalk „durchschlagen“ und wieder in die Einatemluft gelangen
- Dadurch könnte eine schleichende CO_2-Vergiftung entstehen, mit den gleichen Symptomen wie bei der vorher beschriebenen Sparatmung

Atemcharakteristik

Grafischer Vergleich der Atemcharakteristik



Vorteile von Rebreathern

- Gasbedarf erheblich geringer als bei offenen Systemen
- Gasbedarf unabhängig von der Tiefe
- Warmes und feuchtes Atemgas
- Geringe bzw. keine Blasen während der Grundzeit
- Fast geräuschlos
- Längere Nullzeiten und kürzere Dekozeiten

Vorteile eines m/eCCR

- Gasbedarf erheblich geringer als bei offenen Systemen
- Gasbedarf nahe am theoretischen Minimum
- Gasbedarf unabhängig von Tiefe und Atemminutenvolumen
- Warmes und feuchtes Atemgas
- geringer Ein- und Ausatemwiderstand durch die Lage der Gegenlungen
- Keine Blasen während der Grundzeit
- Nahezu geräuschlos
- Keine Änderung der Tarierung durch Ein- und Ausatmen
  (erst wenn das System beherrscht wird)

Vorteile eines m/eCCR

- erheblich längere Nullzeiten und kürzere Dekompressionszeiten durch adaptive Dekompressionsberechnung, unter Einbeziehung des im Kreislauf gemessenen pO_2

- pO_2 bleibt im Normalfall immer im unkritischen Bereich, dadurch kein MOD für den Rebreather-Betrieb

- Tiefengrenzen werden ausschließlich über die Narkosewirkung des Diluent und die Vorgaben des Herstellers festgelegt.

- Einfaches Gasmanagement
  (nur Luft und Sauerstoff notwendig)

- Geringe Gaskosten bei Trimixtauchgängen

Nachteile eines m/eCCR

- Anschaffung teurer als bei offenen Systemen
- Ausbildung aufwändiger als OC und SCR
- Höhere Betriebskosten als bei offenen Systemen
  (Kalk, Batterien, Sensoren, Inspektionen etc.)
- Geringfügig längere Vor- und Nachbereitung notwendig
  (relativiert sich bei erfahrenen eCCR-Tauchern)
- Keine Feintarierung durch die Lunge möglich
  (kein Nachteil mehr, wenn die CCR-Tarierung beherrscht wird)
- Der Taucher kann nicht mehr anhand der Luftblasen geortet werden

Tiefengrenzen eines m/eCCR

Einflussfaktoren sind:

- Die Narkosewirkung des Verdünnungsgases
  (für Luft 40 m)
- Tiefengrenzen der meisten Hersteller
  (Luft: 50 m, Trimix: 100 m)
- Menge des Bailout-Gases
  (muss immer für einen offenen Aufstieg ausreichen)

Die Menge des Bailout-Gases hängt ab von …

- … verwendetem Gerätetyp
  (3 l-Flaschen, 2 l-Flaschen)
- … Vorhandensein einer zusätzlichen Bailout-Flasche
- … Nullzeit bzw. Dekompressionszeit