

Unfallgeschehen

F

La Police du lac au service de la PREVENTION

Il y a quelques années, l'intervention de la police du lac était sollicitée, un mardi vers 18:30 heures, au bord du lac de Neuchâtel, pour un accident de plongée. Le corps sans vie d'un plongeur avait fait surface. Quelque 30 minutes plus tard, un 2^e plongeur émergeait des profondeurs. Ce dernier a été pris en charge par la REGA et transporté aux HUG, à Genève, pour un traitement en caisson hyperbare.

Que s'est-il passé ?

La victime et un ami plongeur avait programmé d'effectuer une plongée profonde, avec un mélange Trimix, dans le lac de Neuchâtel. La victime avait effectué elle-même ses mélanges Trimix et Nitrox, pourtant, elle n'était pas au bénéfice de brevet «Blender Trimix», ni du brevet «plongeur Trimix», d'ailleurs. Ses bouteilles n'avaient plus été testées depuis 7 ans.

Le jour en question, la victime était équipée d'un bi-bouteilles 2x12 litres et son binôme d'un 2x10 litres. Ces bi-bouteilles étaient séparés par la fermeture d'un robinet central, qui était bloqué en position fermée (avec de la toile isolante pour la victime). La bouteille de droite contenait de l'air et la bouteille de gauche indiquait un TX 17/22 pour la victime et 18/25 pour le second. Elles étaient chacune bien gonflées à 230/240 bars et montées d'une robinetterie simple et d'un seul détendeur. Pour leur décompression, chacun des plongeurs disposait d'une bouteille supplémentaire de 7 litres contenant du NX 80. Tous deux étaient équipés d'une combinaison étanche ainsi que de 9 et 11 kg de lestage. Sans briefing, ils se sont immergés.

Lors de la plongée, jusqu'à 70 mètres de profondeur, ils ont respiré de l'air. Après 12 minutes de plongée, ils sont passés au TX pour continuer lentement (env. 3 minutes) leur descente jusqu'à 81 mètres. Au fond, une confusion de direction suivi d'un palmage trop rapide pour corriger le cap s'est fait ressentir. Après 25 minutes d'immersion, en raison d'un manque imminent de TX, ils ont débuté la remontée.

Vers 63 mètres, le binôme est en rupture de TX et change de détendeur en passant sur sa bouteille d'air. Lors de cette manœuvre, il a perdu la victime de vue quelques instants. A un moment donné, la victime réapparaît inconsciente devant lui et il lui remet le détendeur en bouche et tente une remontée sauvetage. Durant ces manipulations, le palanquée remonte rapidement jusqu'à 30 mètres. A cette profondeur, pour sa sécurité, le binôme est contraint de lâcher son ami inconscient, qui remonte à la surface comme un bouchon. Le second plongeur remonte à son tour en effectuant au mieux ses paliers et en consommant la quasi-totalité de ses stocks de gaz.

Conclusion

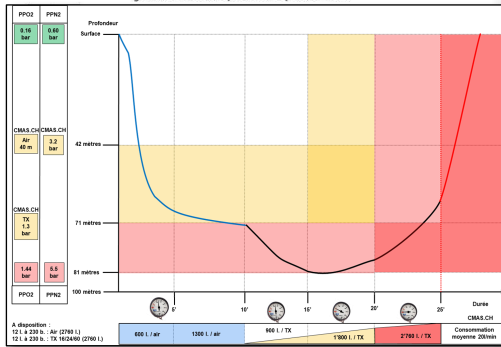
Plusieurs éléments semblent avoir amenés la sécurité de cette immersion : manque d'en-

tretien du matériel, manque de redondance de détendeurs, manque de briefing, routine, relativisation de la problématique des plongées techniques. Toutefois trois paramètres principaux se trouvent à l'origine de cet accident mortel :

1. Volume des gaz insuffisant
2. Gaz inadaptés à la profondeur (PpN2-O2 trop élevés)
3. Manque de formation «Trimix»

Lors de la plongée, le binôme de la victime a tout mis en œuvre pour essayer, en vain, de sauver son ami. A environ 30 mètres, lors de la tentative de sauvetage, si le binôme ne s'était pas séparé de son compagnon, pour freiner sa propre remontée et effectuer sa décompression, il aurait certainement aussi perdu la vie.

Ci-après, un tableau représente les zones critiques quant au volume de gaz et à leur adaptation à la profondeur :



- **PREVENTION**
- Formations adaptées à la plongée technique;
- Standards des organismes de plongée à respecter (réserve / mélange/matériel);
- Entraînements réguliers;
- Briefing avant immersion.
- **Votre Police**

D

Die Seepolizei im Dienste der PRÄVENTION

Vor einigen Jahren, an einem Dienstag gegen 18:30 Uhr, wurde die Intervention der Seepolizei am Ufer des Neuenburgersees aufgrund eines Tauchunfalls angefordert. Der leblose Körper eines Tauchers war aufgetaucht. Etwa 30 Minuten später tauchte ein zweiter Taucher auf. Letzterer wurde durch die REGA übernommen und zur Behandlung in eine Druckkammer ins HUG nach Genf gebracht.

Was ist passiert?

Das spätere Opfer und ein Tauchfreund hatten geplant, einen Tiefgang mit einem Trimix-Gemisch im Neuenburgersee durchzuführen. Das Opfer hatte selbst seine Trimix- und Nitrox-Gemische erstellt, besass jedoch weder den «Trimix Blender» noch den «Trimix Tauchers»-Tauchschein. Ausserdem waren dessen Flaschen seit sieben Jahren nicht mehr getestet worden.

An diesem Tag trug das Opfer zwei Doppelflaschen mit je 12 Litern und sein Buddy zwei Doppelflaschen mit je 10 Litern. Diese Flaschen waren durch das Schliessen eines zentralen Ventils getrennt, das in geschlossener Position blockiert war (mit Isolierband für das Opfer). Die rechte Flasche enthielt Luft und die linke Flasche zeigte für das Opfer TX 17/22 und für den anderen 18/25 an. Beide waren angeblich gut gefüllt und mit einem einfachen Ventil und einem einzigen Regler ausgestattet. Für ihre Dekompression hatte jeder Taucher eine zusätzliche 7-Liter-Flasche mit NX 80 dabei. Beide trugen Trockenanzüge und 9 bzw. 11 kg Beiegewicht. Ohne Briefing, tauchten sie ab.

Bis zu einer Tiefe von 70 Metern atmeten sie Luft. Nach 12 Minuten Tauchzeit wechselten sie zum Trimix, um den langsamen (zirka 3 Minuten) Abstieg bis auf 81 Meter fortzusetzen. Am Boden herrschte Verwirrung über die Richtung, gefolgt von einem zu schnellen Flossenschwimmen, um den Kurs zu korrigieren. Nach 25 Minuten Tauchzeit begannen sie mit dem Aufstieg, da der Trimix zur Neige ging.

Bei etwa 63 Metern ging einem der Taucher der Trimix aus, und er wechselte seinen Regler auf seine Luftflasche. Bei diesem Manöver verloren sich die Taucher kurz aus den Augen. Kurze Zeit später tauchte das Opfer bewusstlos vor seinem Buddy auf, welcher ihm den Regler wieder in den Mund steckte und versuchte, ihn mittels Notaufstieg zu bergen. Während dieser Manipulationen stiegen die Taucher schnell auf 30 Meter auf. In dieser Tiefe musste der Buddy aus Sicherheitsgründen seinen bewusstlosen Freund loslassen, welcher folglich ungebremst an die Oberfläche schoss. Der Buddy konnte unter Berücksichtigung seiner Sicherheitsstopp und unter Verbrauch fast aller seiner Gasvorräte auftauchen.

Fazit

Mehrere Elemente dieses Tauchgangs, wie unter anderem mangelnde Wartung der Ausrüstung, mangelnde Redundanz der Regler, fehlendes Briefing, Routine und Bagatelisierung der Problematik von technischen Tauchgängen, haben die Sicherheit dieses Tauchgangs beeinträchtigt. Drei Hauptfaktoren führten aber zu diesem tödlichen Unfall:

1. Unzureichende Gasmenge
2. Ungeeignete Gase für die Tiefe (PpN2-O2 zu Hoch)
3. Mangelnde «Trimix» Ausbildung

Während des Tauchgangs hat der Tauchbuddy alles versucht, um seinen Freund zu retten. Bei etwa 30 Metern Tiefe, während des Rettungsversuchs, hätte der Buddy sicherlich auch sein Leben verloren, wenn er sich nicht von seinem Begleiter getrennt hätte, um seinen eigenen Aufstieg zu bremsen und seine Dekompression durchzuführen.

Nachfolgend eine Tabelle (siehe linke Seite), welche die kritischen Bereiche der verwendeten Gase in Bezug auf Volumen und Kompatibilität zum fraglichen Tauchgang aufzeigt.

- **PRÄVENTION**
- Angepasste Ausbildung für das technische Tauchen;
- Respektieren der Standards der Tauchorganisationen (Reserve/Gemisch/Material);
- Regelmässiges Tauchtraining;
- Briefing vor dem Tauchgang.
- **Ihre Polizei**

DrySuitExpress

TROCKI-REPARATUREN & MODIFIKATIONEN

Gilles Egesser
Hofmattweg 11d
CH-4417 Ziefen

RÉPARATIONS & MODIFICATIONS
DE COMBINAISONS ÉTANCHES

+41 79 550 29 06
gilles@drysuitexpress.ch
www.drysuitexpress.ch

Achtung: Diagramm ist eine korrigierte Version; die originale enthielt Fehler!

NEREUS 2-2024

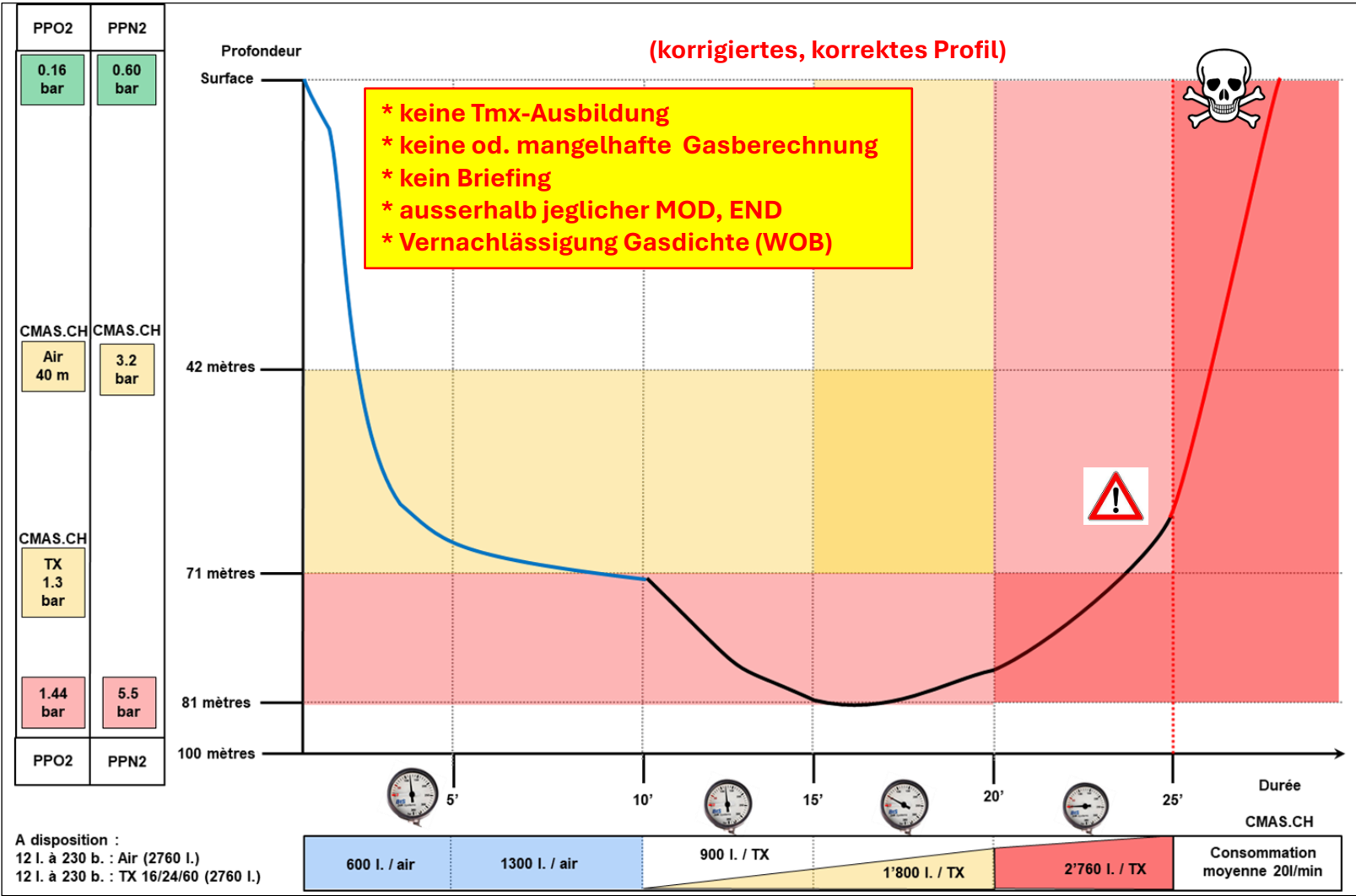
30

NEREUS 2-2024

31

Quelle: NEREUS 2-2024

TG-Profil / Gase / Verbräuche



Gasverbräuche

Gasverbrauchsrechnung auf Basis des TG-Profiles

pSurf **1.000** bar p_O2-max **1.40** bar Dicht Luft **1.293** g/NL@1 bar
 dp/dT (f_p) **0.100** bar/m p_N2-max **4.00** bar Dichte Tmx16/24 **1.022** g/NL@1 bar
 p_He-max **10.00** bar max. zul. Dichte **5.800** g/NL (entspr. Luft, ca. 35m)

AMV **20.0** NL/min/1bar

Flasche 1 Taucher 1

Luft VoL_{Fl} **12** l f_O2-Luft **0.2094** ---
(Gas 1) p_{Fl-init} **230** bar f_N2-Luft **0.7906** ---
 V_{Luft-init} **2760** NL

narkot. Potenzial Mix

nP_O2 **0.260** ---
 nP_N2 **1.000** --- (=Ref.)
 nP_He **0.150** ---

max. Tiefe **81.0** m

ptot_max **9.100** bar

Verbrauch **Luft** bis GW: **1247** NL

Verbrauch **Tmx**: **2660** NL

Gesamt-Gasverbrauch: **3753** NL

Flasche 2 Taucher 1

Tmx VoL_{Fl} **12** l f_O2-Tmx **0.160** ---
(Gas 2) p_{Fl-init} **230** bar f_N2-Tmx **0.600** ---
 V_{Tmx-init} **2760** NL f_He-Tmx **0.240** ---

Gemisch Taucher 1

MOD **56.7** m
 END @Tmx **63.0** m
 EADD @Tmx **61.9** m

Beachte: Flasche kann auf Tiefe maximal bis auf aktuellen Umgebungsdruck abgeatmet werden !

(Opfer)

Zeit (min)	Tiefe (m)	ptot (bar)	AMV_Gas-aktuell (NL/min)	VCons. (NL)	VCons. kumuliert (NL)	Atem-gas	p_O2 (bar)	p_N2 (bar)	Dichte (g/l)	Gas 1		Gas 2	
										V_Luft-aktuell (NL)	p_Luft-Rest (bar)	V_Tmx-aktuell (NL)	p_Tmx-Rest (bar)
0.0	0.0	1.00	20.0	0.0	0.0	1	0.209	0.791	1.293	2760	230.0	2760	230.0
1.0	10.0	2.00	40.0	30.0	30.0	1	0.419	1.581	2.587	2730	227.5	2760	230.0
2.0	42.0	5.20	104.0	72.0	102.0	1	1.089	4.111	6.725	2658	221.5	2760	230.0
3.0	63.0	7.30	146.0	125.0	227.0	1	1.529	5.771	9.441	2605	217.1	2760	230.0
5.0	68.0	7.80	156.0	302.0	529.0	1	1.633	6.167	10.088	2356	196.3	2760	230.0
9.5	71.5	8.15	163.0	717.8	1246.8	1	1.707	6.443	10.540	1638	136.5	2760	230.0
12.0	71.5	8.15	163.0	407.5	1654.3	2	1.304	4.890	8.330	1638	136.5	2353	196.0
13.0	77.0	8.70	174.0	168.5	1822.8	2	1.392	5.220	8.892	1638	136.5	2184	182.0
15.0	81.0	9.10	182.0	356.0	2178.8	2	1.456	5.460	9.301	1638	136.5	1828	152.3
18.0	81.0	9.10	182.0	546.0	2724.8	2	1.456	5.460	9.301	1638	136.5	1282	106.8
20.0	77.0	8.70	174.0	356.0	3080.8	2	1.392	5.220	8.892	1638	136.5	926	77.2
24.0	71.0	8.10	162.0	672.0	3752.8	2	1.296	4.860	8.279	1638	136.5	254	21.2
25.0	63.0	7.30	146.0	154.0	3906.8	2	1.168	4.380	7.461	1638	136.5	100	8.3

GW

Bewertung des Gasgemisches

Gemischzusammensetzung unter Aspekt Narkose, Dichte und max. Gas-Partialdrücke Kennz. **Tmx, 81m**

Umgebung

psurf **1.000** bar
 dpdT **0.100** bar/m
Tauchgang
 Tiefe **81.0** m
 ptot **9.10** bar
Gasdichten bei 1 bar
 ro_O2_0 **1.4280** g/l
 ro_He_0 **0.1790** g/l
 ro_N2_0 **1.2510** g/l

narkotisches Potenzial

nP-O2 **0.26** ---
 nP-He **0.15** ---
 nP-N2 **1.00** ---

Maximal- u. Minimalwerte Gase

pO2min **0.18** bar
 pO2max **1.40** bar
 pN2max **4.00** bar
 pHemax **10.00** bar

Max. zulässige Gasdichte

ro_Mix-max_T **5.80** g/l

Max. zulässige END

END_max **35.0** m
 EADD_max **35.0** m

Best Mix mit pO2max **1.40** bar
 Sicherheit geg. Maximum **0.00** bar
 plG-Rest **7.70** bar
 ro-IG-Rest (max) **3.801** g/l

f_O2-Luft **20.94%**
f_N2-Luft **79.06%**

Sicherheitsfaktor wählbarer Max. Wert **0.00%** %
0.000 g/l

Gas

Gas	Dichte (g/l)	Anteil in Luft (---)	Gew.Ant. in Luft (g/l)
Argon Ar	1.7840	0.00934	0.01666
Kohledioxid CO2	1.9800	0.00040	0.00079
Wasserstoff H	0.0899	0.00000	0.00000
Summe/Mittel Restgase	1.7920	0.00974	0.01745
Sauerstoff O2	1.4280	0.20942	0.29905
Helium He	0.1790	0.00000	0.00000
Stickstoff N2	1.2510	0.78084	0.97683
Luft (20.94/78.08)	1.2933	1.00000	1.29334

* Luft: bei 1bar, 20°C

Referenzdichte 30m **5.173** g/l (0m ü.M.)
 Referenzdichte 40m **6.467** g/l (0m ü.M.)

MIT Spurengasen !

ohne Restgase

Eckpunkte feststellen

	p_gas (bar)	f_gas (%)	ro_gas (g/l)	ro_ges (g/l)	END (m)	EADD (m)
pO2max	1.40	15.4%	1.999			
Inertgas He_alleine	7.70	84.6%	1.378	3.378	8.2	16.1
Inertgas N2_max	4.00	44.0%	5.004			
Rest He	3.70	40.7%	0.662	7.666	48.9	49.3

He-Ox } Tmx

automatische Optimierung

Gas	p_Gas (bar)	f_Gas (%)	ro_Gas (g/l)
f_O2	1.400	15.38%	1.999
f_He	5.440	59.78%	0.974
f_N2	2.260	24.83%	2.827
Total	9.100	100.00%	5.800

pers. Auswahl

	f_Gas (%)	p_Gas (bar)	ro_Gas (g/l)
Restgase	16.00%	1.456	2.079
	24.00%	2.184	0.391
	60.00%	5.460	6.830
Restgase	0.00%	0.000	0.000

nur bei Luft!

X-Check 100.0% 9.1 **9.301**

inert-gas-ratio He/N2 0.40

Schlussresultate

Gas-Bez. **Tmx/16/24/60**

ro_Mix **9.301** g/l
 EAD --- m
 END **63.0** m
 EADD **61.9** m

MinOD **1.3** m
 MOD **56.7** m

nur für CCR:

$$P_{He_Loop} = (P_{ambtot[T]} - SP_{Loop}) / (1 + f_{N2-DIL} / f_{He-DIL})$$

$$P_{N2_Loop} = (P_{ambtot[T]} - SP_{Loop}) / (1 + f_{He-DIL} / f_{N2-DIL})$$

OTU_max **300** OTU/Tag **theoret. TZ b. 300 OTU**
 CNS_max **80%** % CNS **theoret. TZ b. 80% CNS**

OTU **1.716** OTU/min
175 min
 CNS (single dive, multiple days) **0.39** CNS% / min
203 min

Gemisch Taucher 1 (Opfer): **komplett daneben!**

Bewertung des Gasgemisches

Gemischzusammensetzung unter Aspekt Narkose, Dichte und max. Gas-Partialdrücke Kennz. **Tmx, 81m**

Umgebung
 psurf **1.000** bar
 dpdT **0.100** bar/m
Tauchgang
 Tiefe **81.0** m
 ptot **9.10** bar
Gasdichten bei 1 bar
 ro_O2_0 **1.4280** g/l
 ro_He_0 **0.1790** g/l
 ro_N2_0 **1.2510** g/l

narkotisches Potenzial
 nP-O2 **0.26** ---
 nP-He **0.15** ---
 nP-N2 **1.00** ---

Maximal- u. Minimalwerte Gase
 pO2min **0.18** bar
 pO2max **1.40** bar
 pN2max **4.00** bar
 pHemax **10.00** bar

Max. zulässige Gasdichte
 ro_Mix-max_T **5.80** g/l

Max. zulässige END
 END_max **35.0** m
 EADD_max **35.0** m

Best Mix mit pO2max **1.40** bar
 Sicherheit geg. Maximum **0.00** bar
 plG-Rest **7.70** bar
 ro-IG-Rest (max) **3.801** g/l

f_O2-Luft **20.94%**
f_N2-Luft **79.06%**

ohne Restgase

Eckpunkte feststellen	p_gas (bar)	f_gas (%)	ro_gas (g/l)	ro_gas (g/l)	END (m)	EADD (m)
pO2max	1.40	15.4%	1.999			
Inertgas He_alleine	7.70	84.6%	1.378	3.378	8.2	16.1
Inertgas N2_max	4.00	44.0%	5.004			
Rest He	3.70	40.7%	0.662	7.666	48.9	49.3

Legende:
 EAD Equivalent Air Depth
 END Equivalent Narcotic Depth
 EADD Equivalent Air Density Depth
 MinOD Minimum Operation Depth
 MOD Maximum Operation Depth

automatische Optimierung

Gas	p_Gas (bar)	f_Gas (%)	ro_Gas (g/l)
f_O2	1.400	15.38%	1.999
f_He	5.440	59.78%	0.974
f_N2	2.260	24.83%	2.827
Total	9.100	100.00%	5.800

pers. Auswahl

pers.	f_Gas (%)	p_Gas (bar)	ro_Gas (g/l)
Auswahl	18.00%	1.638	2.339
	25.00%	2.275	0.407
	57.00%	5.187	6.489
Restgase	0.00%	0.000	0.000
X-Check	100.0%	9.1	9.235

inert-gas-ratio He/N2 0.44

Sicherheitsfaktor **0.00%**
wählbarer Max. Wert **0.000** g/l

Schlussresultate

Gas-Bez.	Tmx/18/25/57	
ro_Mix	9.235	g/l
EAD	---	m
END	60.5	m
EADD	61.4	m
MinOD	0.0	m
MOD	60.2	m

nur für CCR:

$$P_{He_Loop} = (P_{ambtot[T]} - SP_{Loop}) / (1 + f_{N2-DIL} / f_{He-DIL})$$

$$P_{N2_Loop} = (P_{ambtot[T]} - SP_{Loop}) / (1 + f_{He-DIL} / f_{N2-DIL})$$

OTU_max **300** OTU/Tag
CNS_max **80%** % CNS

OTU **1.984** OTU/min
 theoret. TZ b. 300 OTU **151** min
CNS (single dive, multiple days) **0.39** CNS% / min
 theoret. TZ b. 80% CNS **203** min

Gemisch Taucher 2 (Buddy): **komplett daneben!**

Optimierung des Gasgemisches

Theorie Unterrichtsmittel Swiss Cave Diving

Berechnung der Gemisch-Zusammensetzung mit Berücksichtigung der max. zulässigen Gasdichte



Beat Müller
V3 / 12.04.2024

12.04.2024 / bmu

Gemisch-Zusammensetzung-Dichte_V3

1

Theorie Unterrichtsmittel Swiss Cave Diving

Berechnung der Gemisch-Zusammensetzung mit Berücksichtigung der max. zulässigen Gasdichte

Bei der Bestimmung der Gemisch-Zusammensetzung sind folgende Parameter zu berücksichtigen:

- 1) Max. pO₂ wegen O₂-Toxizität (OTU, CNS und narkotische Wirkung)
- 2) Max. pN₂ wegen Stickstoff-Narkose (narkotische Wirkung)
- 3) Max. pHe wegen HPNS Symptomen (allerdings erst weit über Tiefengrenzen des Sporttauchens)

Off geht dabei die Dichte des Gas-Gemisches verloren. Auch sie muss aber berücksichtigt werden. Bei zu hoher Dichte wird die Atemarbeit (WOB) zu gross, es resultiert eine ungenügende Atmung, damit ungenügender Gasaustausch und ein Anstieg des CO₂ (Hyperkapnie) im Blut. Die Effekte sind dieselben wie nach einem Scrubber Durchbruch bei CCR.

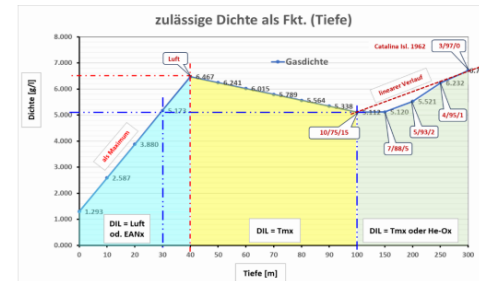
Während sich die Minimale Einsatztiefe (MinOD) alleine auf den minimalen pO₂ abstützen kann, ist die maximale Einsatztiefe MOD also von all diesen Grössen gemeinsam abhängig.

Wir können also schreiben:

$$\text{MOD} = \text{Minimum}\{\text{MOD}(p\text{O}_2\text{max}), \text{MOD}(p\text{N}_2), \text{MOD}(p\text{He}), \text{MOD}(\text{Dichte_Mix})\}$$

Mit der Festlegung des maximal erreichten pO₂ auf unserer Zieltiefe (best Mix), legen wir eine Grösse bereits fest.

Weiter können wir die maximal zu erreichende Dichte ebenfalls vorschreiben. Diese können wir dem folgenden Diagramm entnehmen:



Dieser Verlauf ist daraus entstanden, dass

- a) Das Tauchen mit Luft bis 40m weltweit – auch juristisch u. versicherungstechnisch – als Standard gilt
- b) Auch die EN14143 Prüfung auf 40m mit DIL = Luft und einer AMV von 40l/min vorgenommen wird, also auch für den Einsatz mit CCR bis zu dieser Tiefe zumindest als Maximum herangezogen werden kann
- c) Auf ca. 100m die Atemgasdichte im Loop in etwa derjenigen auf 30m mit Luftatmung entsprechen sollte
- d) Die Atemarbeit linear von der Dichte abhängig ist

12.04.2024 / bmu

Gemisch-Zusammensetzung-Dichte_V3

2

Studie zur Gemisch-Optimierung; Umsetzung im attachten Excel-Tool

Optimierung des Gasgemisches

Gemischzusammensetzung unter Aspekt Narkose, Dichte und max. Gas-Partialdrücke Kennz. **Tmx, 81m**

Umgebung

psurf **1.000** bar
 dpdT **0.100** bar/m

Tauchgang

Tiefe **81.0** m
 ptot **9.10** bar

Gasdichten bei 1 bar

ro_O2_0 **1.4280** g/l
 ro_He_0 **0.1790** g/l
 ro_N2_0 **1.2510** g/l

Best Mix mit pO2max **1.40** bar
 Sicherheit geg. Maximum **0.00** bar
 piG-Rest **7.70** bar
 ro-iG-Rest (max) **3.801** g/l

narkotisches Potenzial

nP-O2 **0.26** ---
 nP-He **0.15** ---
 nP-N2 **1.00** ---

Maximal- u. Minimalwerte Gase

pO2min **0.18** bar
 pO2max **1.40** bar
 pN2max **4.00** bar
 pHemax **10.00** bar

Max. zulässige Gasdichte

ro_Mix-max_T **5.80** g/l

Max. zulässige END

END_max **35.0** m
 EADD_max **35.0** m

Gas

Gas	Dichte (g/l)	Anteil in Luft (---)	Gew.Ant. in Luft (g/l)
Argon Ar	1.7840	0.00934	0.01666
Kohledioxid CO2	1.9800	0.00040	0.00079
Wasserstoff H	0.0899	0.00000	0.00000
Summe/Mittel Restgase	1.7920	0.00974	0.01745
Sauerstoff O2	1.4280	0.20942	0.29905
Helium He	0.1790	0.00000	0.00000
Stickstoff N2	1.2510	0.78084	0.97683
Luft (20.94/78.08)	1.2933	1.00000	1.29334

* Luft: bei 1bar, 20°C

Referenzdichte 30m **5.173** g/l (0m ü.M.)
 Referenzdichte 40m **6.467** g/l (0m ü.M.)

Sicherheitsfaktor wählbarer Max. Wert **0.00** %
0.000 g/l

ohne Restgase

Eckpunkte feststellen

	p_gas (bar)	f_gas (%)	ro_gas (g/l)	ro_gas (g/l)	END (m)	EADD (m)
pO2max	1.40	15.4%	1.999			
Inertgas He_alleine	7.70	84.6%	1.378	3.378	8.2	16.1
Inertgas N2_max	4.00	44.0%	5.004			
Rest He	3.70	40.7%	0.662	7.666	48.9	49.3

Legende:
 EAD Equivalent Air Depth
 END Equivalent Narcotic Depth
 EADD Equivalent Air Density Depth
 MinOD Minimum Operation Depth
 MOD Maximum Operation Depth

automatische Optimierung

Gas	p_Gas (bar)	f_Gas (%)	ro_Gas (g/l)
f_O2	1.400	15.38%	1.999
f_He	5.440	59.78%	0.974
f_N2	2.260	24.83%	2.827
Total	9.100	100.00%	5.800

Auswahl

pers.	f_Gas (%)	p_Gas (bar)	ro_Gas (g/l)
	15.00%	1.365	1.949
	60.00%	5.460	0.977
	25.00%	2.275	2.846
Restgase	0.00%	0.000	0.000

X-Check 100.0% 9.1 **5.773** nur bei Luft!

Schlussresultate

Gas-Bez. **Tmx/15/60/25**

ro_Mix **5.773** g/l
 EAD --- m
 END **30.8** m
 EADD **34.6** m

MinOD **2.0** m
 MOD **83.3** m

nur für CCR:

$$P_{He_Loop} = (P_{ambtot[T]} - SP_{Loop}) / (1 + f_{N2-DIL} / f_{He-DIL})$$

$$P_{N2_Loop} = (P_{ambtot[T]} - SP_{Loop}) / (1 + f_{He-DIL} / f_{N2-DIL})$$

OTU_max **300** OTU/Tage
 theoret. TZ b. 300 OTU **190** min

CNS_max **80%** % CNS
 theoret. TZ b. 80% CNS **203** min

korrektes Gemisch für 81m unter Einhaltung pO2max, pN2max, END und EADD

Optimierung des Gasgemisches

Dichte von Gasen (bei 1 bar)

Gas	Dichte (g/l)	Anteil in Luft (---)	Gew. Ant. in Luft (g/l)
Argon Ar	1.7840	0.00934	0.01666
Kohlendioxid CO2	1.9800	0.00040	0.00079
Wasserstoff H	0.0899	0.00000	0.00000
<i>Summe/Mittel Restgase</i>	<i>1.7920</i>	<i>0.00974</i>	<i>0.01745</i>
Sauerstoff O2	1.4280	0.20942	0.29905
Helium He	0.1790	0.00000	0.00000
Stickstoff N2	1.2510	0.78084	0.97683
Luft (20.94/78.08)	1.2933	1.00000	1.29334

Gas	Density (g·L ⁻³)
Hydrogen	0.090
Helium	0.179
Nitrogen	1.251
Oxygen	1.428
Air	1.293

Referenzdichte 30m **5.173** g/l (Meereshöhe; p_amb-tot.=1.000 bar)

Referenzdichte 40m **6.467** g/l (Meereshöhe; p_amb-tot.=1.000 bar)

Zulässige Dichte als Fkt. der Tiefe (Meereshöhe)

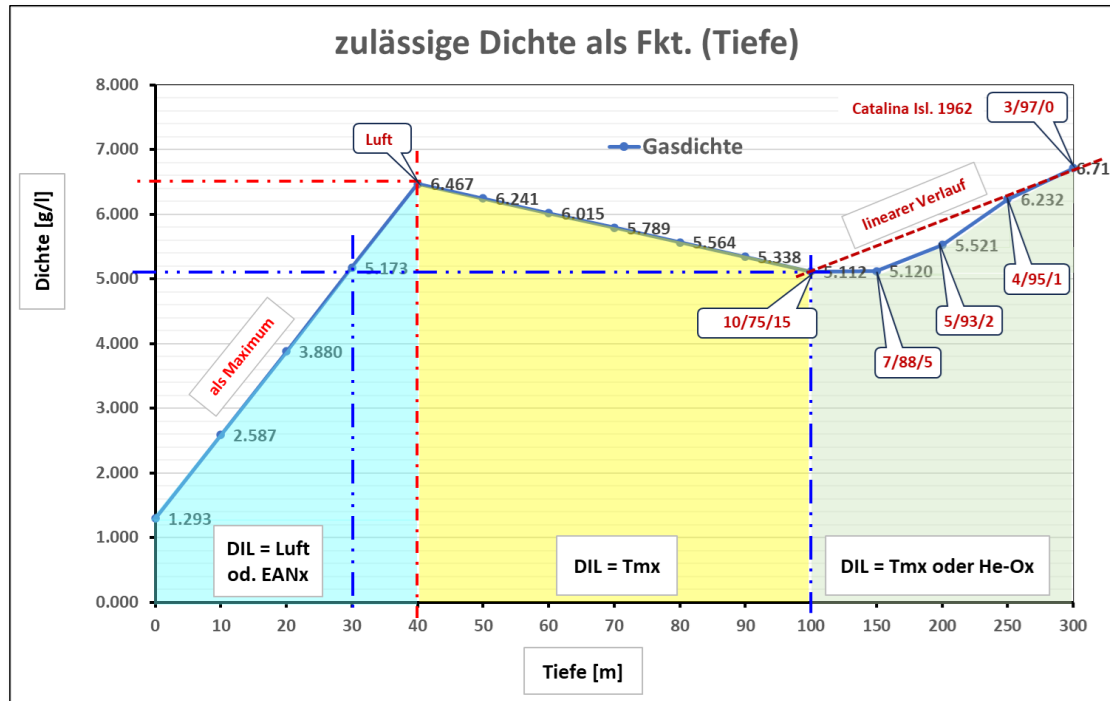
	Tiefe (m)	Gasdichte (g/l)	Mix (fO2/fHe/fN2)	Slope:
Annahme: Luft, lin. steigend mit ptot	0	1.293	Luft	0.1293 bar/m
	10	2.587	Luft	
	20	3.880	Luft	
	30	5.173	Luft	
Annahme: Maximalwert bei 40m Luft	40	6.467	Luft	-0.0226 bar/m
	50	6.241	wechselnde Tmx	
	60	6.015		
	70	5.789		
Annahme: wieder ansteigend	80	5.564		10/75/15 7/88/5 5/93/2 4/95/1 3/97/0
	90	5.338		
	100	5.112		
	150	5.120		
	200	5.521		
	250	6.232		
300	6.711			

Bühlmann/Keller, Catalina Islands 1962

300m: Tmx 3/97/0

Graphische Darstellung s. nächste Folie

Optimierung des Gasgemisches



LINEARER VERLAUF 40m - 100m		
Tiefe (m)	Dichte (g/l)	erford. Mix (O2/He/N2)
40	6.467	Luft
50	6.241	ca. 21.6/24.85/53.55
60	6.015	ca. 18./41.15/40.85
70	5.789	ca. 15.2/53.33/31.47
80	5.564	ca. 13.17/62.80/24.10
90	5.338	ca. 11.5/70.5/18

LINEARER VERLAUF 100m - 300m		
Tiefe (m)	Dichte (g/l)	Mix (O2/He/N2)
100	5.112	10/75/15
150	5.512	ca. 7/85.7/7.3
200	5.911	ca. 5/91.3/3.7
250	6.311	ca. 4/95.7/1.3
300	6.711	3/97/0

OPTIMIERTER VERLAUF 100m - 300m		
Tiefe (m)	Dichte (g/l)	Mix (O2/He/N2)
100	5.112	10/75/15
150	5.120	ca. 7/88/5
200	5.521	ca. 5/93/2
250	6.232	ca. 4/95/1
300	6.711	3/97/0

Maximum = Luft/EADD 40m; Ziel: Tmx /EADD 30-35m auf 100m effektiv;
Einhaltung pO2max, pN2max, pHemax, END, MOD

(Wenn für CCR OK, dann erst recht für OC !)

Die Standards von cmas.ch im Trimix-Bereich

... zweifellos eine sehr interessante Zusammenstellung ... die einige Fragen aufwirft ...

ANHANGE

Materialanforderungen

SAUERSTOFF SERVICE

- der Kursteilnehmer verwendet Ausrüstung, die für die Verwendung von anderen Gasgemischen als Luft vorgesehen und zertifiziert ist.

DIE KURSTEILNEHMER MÜSSEN IHRE EIGENE, PERSÖNLICHE AUSTRÜSTUNG MITBRINGEN

- Gasmenge gemäss der Tauchgangsplanung, einschliesslich der Basismischungsreserve, die auf zwei Flaschen verteilt ist (ein gebrückter Rückentauchanzug wird empfohlen)/Manifold erforderlich
- Stufe mit einem MP-Schlauch in Standardlänge und eine 1. Stufe mit einem 1,90 m bis 2,20 m langen MP-Schlauch für die Bodenmischung, ein Manometer für die Zweiflaschenanlage oder zwei, wenn die Flaschen nicht miteinander verbunden sind
- zwei (2) Dekompressionsflaschen für normoxisches Trimix / Normoxic Trimix oder drei (3) Dekompressionsflaschen für hypoxisches Trimix / Advanced Trimix (Gasvolumen gemäss der Tauchgangsplanung, einschliesslich Reserve) mit Befestigungen
- für jede Dekompressionsflasche eine 1. Stufe mit einem MP-Schlauch in Standardlänge
- eine (1) Flasche zum Ausbalancieren des Trockentauchanzugs (Gasvolumen gemäss der Tauchgangsplanung, einschliesslich Reserve)
- ein 1. Stock mit einem Überdruckventil und einem MP-Schlauch für die Flasche des Trockentauchanzugs
- eine Hauptlampe und eine Reservelampe
- scharfe Werkzeuge (Messer, Seilschneider, Gartenschere oder Ähnliches)
- zwei Tauchmasken
- Wetnotes
- zwei Möglichkeiten, um Tiefe, Zeit und Dekompression unter Wasser zu bestimmen, z. B. zwei Tauchcomputer
- Stationsfallschirm (SMB) mit Spool oder Reel mit einer für den Tauchgang geeigneten Leinenlänge. Führen Sie zwei Fallschirme mit sich: einen orangefarbenen und einen gelben. Es ist empfehlenswert, den eigenen Namen auf dem Fallschirm zu haben

Es wird empfohlen, dass der Taucher und der Lehrer die gleiche Konfiguration haben. Der offene Kreislauf ist obligatorisch.

← dürfte ein Problem sein, da z.B. EN250 (Zertifizierung von Lungenautomaten) mit Luft nach EN12021 durchgeführt wird!

← das muss eine absolute Neuentwicklung sein !?

← engl. "Manifold" ist ein Verteiler, ein Ansaugrohr od. eine Brücke (Verbindung). Was ist hier gemeint ?

← 2 od. 3 verschiedene normoxische/hypoxische Deko-Gase ?

Wo bleibt das Travel-Mix, resp. die Stage-Flaschen dazu ?

← und wo bleibt die 2. Stufe ?

← wie soll dieses "balancieren" denn gehen und was für eine Flasche ?

← wieviele Stockwerke hat den so ein Lungenautomat ?

← wieviele denn ?

← dann geht es auch noch in die Luft in diesem Kurs ?

← gleiche Konfiguration (BM / SM) nicht obligatorisch ?

Gesamturteil

Bei diesem TG ist so ziemlich alles schiefgegangen, was schiefgehen kann. Das Verhalten der beiden Taucher ist geprägt von einer **unglaublichen fachlichen Inkompetenz, grenzt an Grobfahrlässigkeit von A-Z und begründet versicherungstechnisch jedenfalls ein Wagnis.**

Folgende Punkte sind kritisieren:

1. **Kein Briefing, kein Buddy-Check** (s. dazu **Bundesgerichtsurteil** [8C_144/2007 / 134 V 340, 11 juin 2008] in einem ähnlichen Fall; auf BFU "Tauchgang im Bergsee")
2. Dass die Flaschen seit ca. 7 Jahren nicht mehr geprüft worden sind, hat zwar wohl kaum ursächliche Auswirkungen auf das Geschehen, es kann aber als starkes Indiz dafür genommen werden, dass diese sog. "TEK-Diver" eine ganz bedenkliche Einstellung bezüglich Zustand und Unterhalt ihrer Ausrüstung hatten.
3. **Keine od. katastrophal ungenügende Gasplanung**, sowohl für Travel- (Luft) wie Bottom-Gas (Tmx)
4. **Fehlende Tmx- und Blender-Ausbildung**; merkliche Abweichung der Gemische untereinander, was - auch wenn hier nicht unfallursächlich - tunlichst zu vermeiden ist.
5. Z.T. **krass falsche Gase** weit ausserhalb der allgemein akzeptierten Limits für pO₂, pN₂, END, MOD, EADD (Dichte); es muss angenommen werden, dass den Tauchern jegliches fachliches (physiologisch-physikalisches) Wissen dazu fehlte (z.B. betreffend WOB).
6. Es ist weltweit von allen bekannten Organisationen im TEK-Diving Bereich **strikte verboten**, in einem **BM-Doppelgerät unterschiedliche Gase** mitzuführen, umso mehr als hier die beiden Flaschen mit einer Brücke mit Absperrventil verbunden waren. Die "Sicherung" des Absperrventils mit Klebeband ist Bricolage schlimmster Sorte !
7. **Nichteinhalten grundlegender Standards** der wohl meisten Ausbildungsorganisationen.

Traurig, dass ein Taucher deswegen sterben musste !