

Beim Höhlentauchen ist der Umkehrpunkt, der am weitesten entfernte Punkt von der Oberfläche. Es ist der Zeitpunkt um den „Aufstieg“ einzuleiten. Im Gegensatz zum (Sport)Tauchen in offenen Gewässern: Hier ist der Umkehrpunkt ungefähr bei der Hälfte des Tauchgangs anzusiedeln. Ausserhalb der Höhle kann man direkt mit dem Aufstieg beginnen. Beim Höhlentauchen muss man die Strecke, die man hinein getaucht ist, wieder hinaustauchen. Demzufolge muss der Gasvorrat so geplant werden, dass kein Problem mit der Atemgasversorgung beim Umkehrpunkt dazu führen könnte, dass die Taucher die Oberfläche nicht mehr erreichen. Um dieser Problematik zu entgegen, wurde die sogenannte „Drittel-Regel“ eingeführt. Die Drittelregel besagt, dass ein Drittel des Gasvorrats für den Hinweg und ein Drittel für den Rückweg verbraucht wird. Das letzte Drittel steht dem Tauchpartner als Reserve und zur Sicherheit zur Verfügung.

A diver is shown in a cave environment, illuminated by a greenish light. The diver is wearing a full diving suit and a large gas cylinder, and is holding a flashlight. The diver is positioned in the center of the frame, facing away from the viewer and slightly to the right. The background shows the rocky walls of the cave and some water ripples.

Gasplanung

beim Höhlentauchen

In diesem Bericht werden folgende Situationen analysiert:

- Tauchen im Team mit identischen Flaschenvolumen
- Tauchen im Team mit unterschiedlichen Flaschenvolumen
- Tauchen mit Stage-Flaschen
- Tauchen mit Scootern (DPV)

Dabei werden die Grenzen der Drittelregel aufgezeigt und nötige Adaptionen zur Erhöhung der Sicherheit vorgestellt. Welche Anpassungen jeder Höhlentaucher vornimmt hängt einerseits von der Höhle, andererseits von der persönlichen Risikobereitschaft ab. Als Planungsgrundlage dient eine Höhle die konstant 20m tief ist. Taucher A hat ein Atemminutenvolumen (AMV) von 20 Litern an der Oberfläche und Taucher B eins von 15 Litern.

Team mit identischen Flaschen:

Beide Taucher verwenden ein Doppelzweifl-Gerät (D12 = 2 x 12lt). Im ersten Beispiel haben beide Taucher ihre Flaschen bis auf 210 bar gefüllt. Für den Hinweg dürfen sie 70 bar verbrauchen, dies entspricht einem Volumen von 1.680 lt. Taucher A kann damit 28 Minuten auf 20m tauchen, Taucher B hingegen 37 Minuten. Der Umkehrpunkt liegt somit bei 28 Minuten. Fällt das Gas eines Tauchers aus (gelb markiert) können beide Taucher mit Hilfe eines Tauchgeräts an die Oberfläche gelangen. (Tabelle rechts)

In einem Notfall steigt der Gasverbrauch bei beiden Tauchern um 25% an: Taucher A verbraucht nun 25 Liter und Taucher B 19 Liter. In solchen Notsituationen steigt das Atemminutenvolumen für eine kurze Dauer deutlich über 25%. Es ist jedoch unwahrscheinlich dass dieser Gasverbrauch während der ganzen 28 Minuten, d.h. die Zeit für den Weg bis zur Oberfläche, auf diesem Niveau bleibt. Fällt nun das Gerät von Taucher A aus, dann fehlen im Notfall 2,5 Minuten bis zur rettenden Oberfläche (letzte Zeile Tabelle, [1]).

In der Praxis stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung, um die Situation zu entschärfen: 1. „Magic Number“: Das Drittel wird auf 10 bar genau abgerundet. Nimmt man beispielsweise einen Luftvorrat von 200 bar, wäre ein Drittel 66 bar. Diese Zahl

wird auf 60 bar abgerundet. Es wird nun bei einem Flaschendruck von 200 bar – 60 bar = 140 bar gedreht, d.h. der Umkehrdruck beträgt 140 bar. Entspricht der Druck genau einer „Magic Number“ (eine durch 30 teilbare Zahl) werden 10 bar vom Drittel abgezogen. In unserem ersten Beispiel liegt der Umkehrpunkt bei 150 bar (anstelle von 140 bar). Die beiden Taucher schwimmen so 24 Minuten anstelle von 28 Minuten in die Höhle hinein. Beim Ausstieg sind dann im Notfall mit erhöhtem Atemminutenvolumen noch 18 bar in der Flasche von Taucher A.

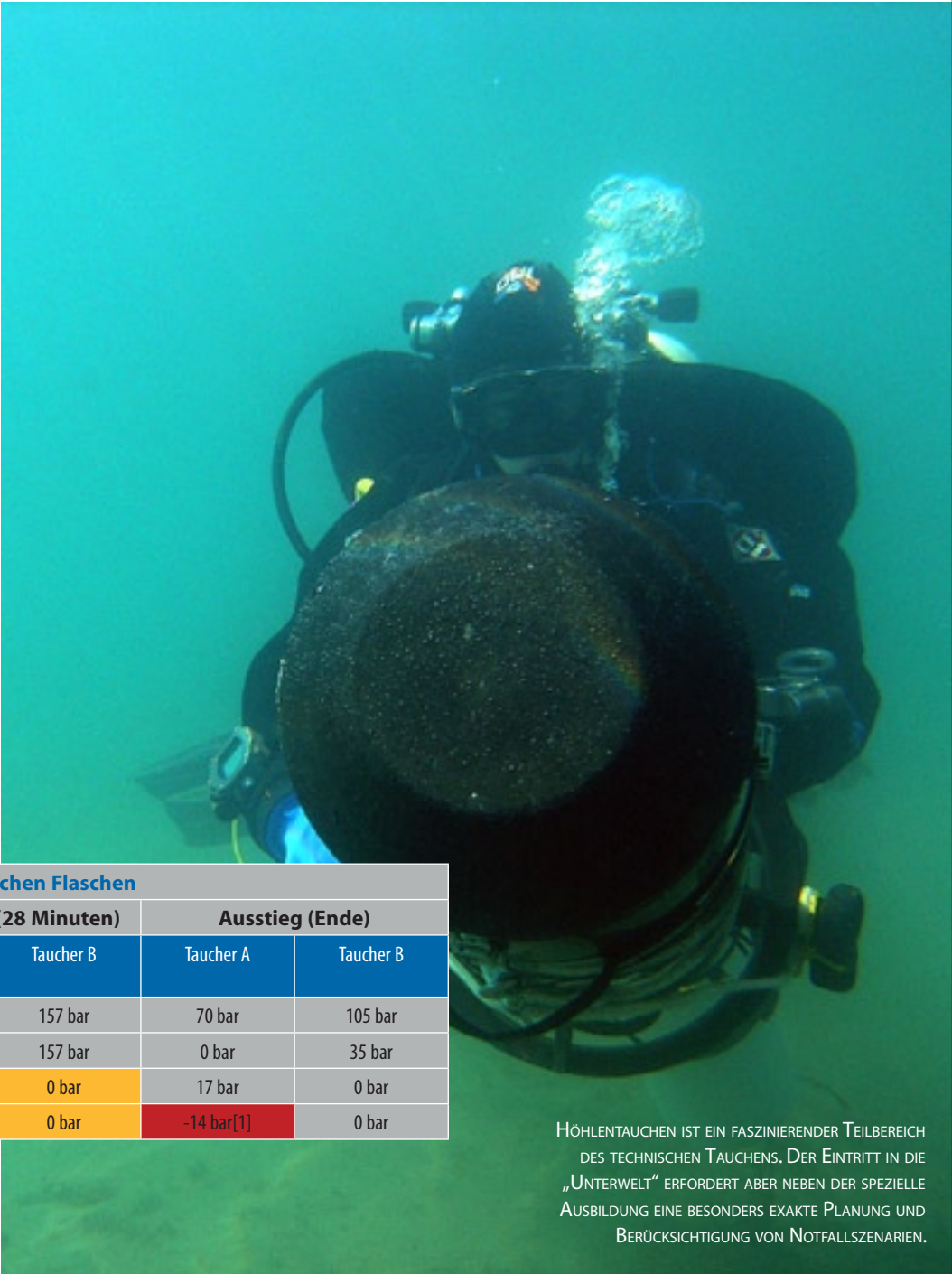
2. Beim Hineintauchen wird oft gebummelt, im Notfall dagegen wird zügig hinausgeschwommen. So können leicht 10%-20% der Zeit eingespart werden. Bei einer 10% höheren Schwimmgeschwindigkeit erreicht man den Ausstieg in unserem Beispiel mit einem um 25% erhöhtem Atemminutenvolumen bei 0 bar.

3. Eine leicht spürbare Auswärtsströmung erhöht die Geschwindigkeit auf dem Rückweg um mindestens 10%.

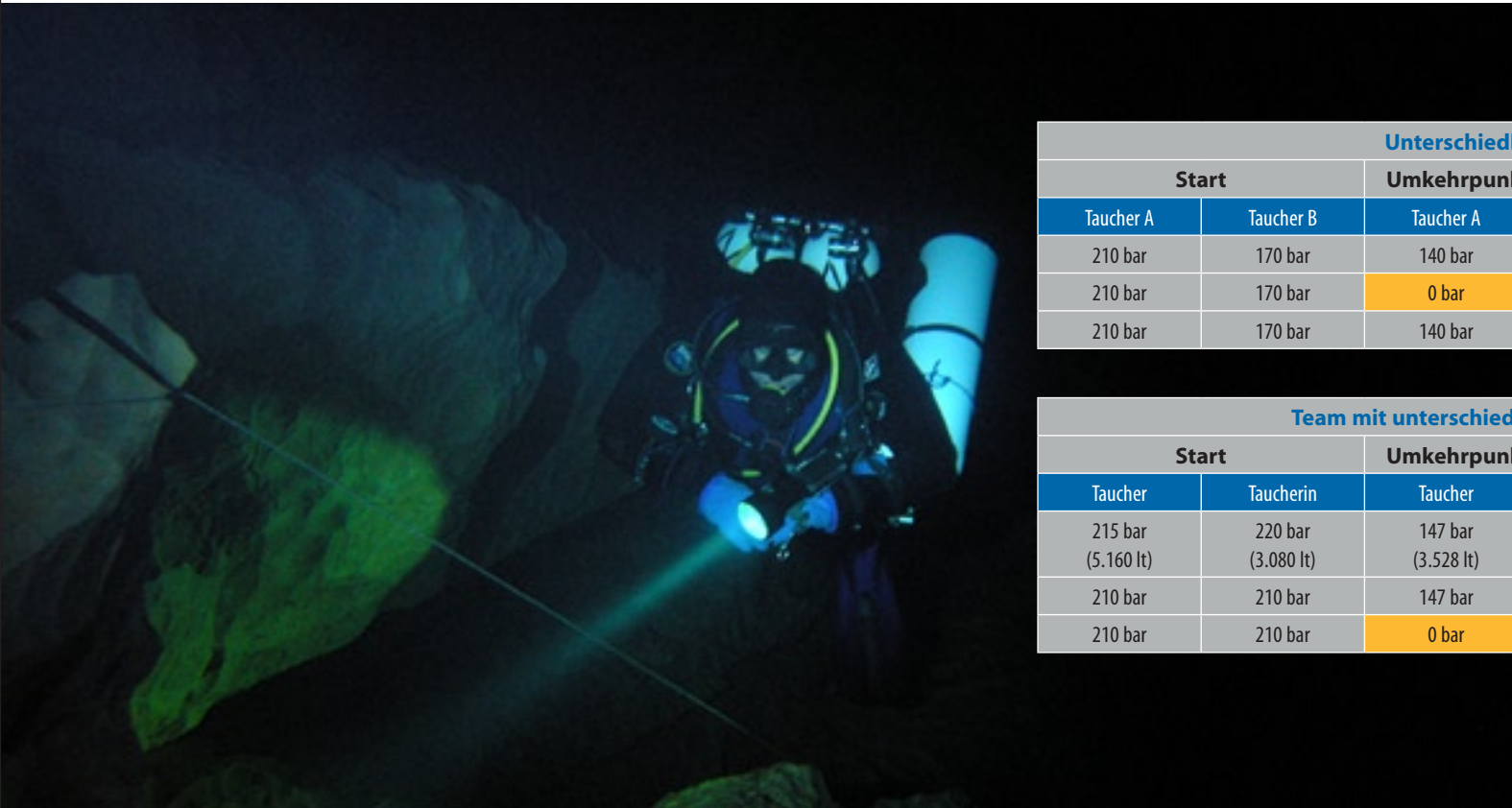
4. Das Legen des Primary Reels (Leine von der Oberfläche bis zur Hauptleine) benötigt Zeit (1-2 Minuten). In einem Notfall entfällt diese Zeit, da die Leine in der Höhle zurückgelassen wird.

Team mit identischen Flaschen					
Start		Umkehrpunkt (28 Minuten)		Ausstieg (Ende)	
Taucher A (20l/min)	Taucher B (15l/min)	Taucher A	Taucher B	Taucher A	Taucher B
210 bar	210 bar	140 bar	157 bar	70 bar	105 bar
210 bar	210 bar	0 bar	157 bar	0 bar	35 bar
210 bar	210 bar	140 bar	0 bar	17 bar	0 bar
210 bar	210 bar	140 bar	0 bar	-14 bar[1]	0 bar

5. Der Gasverbrauch während der Checks (Valve Drill: alle Ventile zu drehen und öffnen; S-Drill: Ohne-Gas-Situation mit Einsatz des Langschlauches) wird zum Hinweg hinzugezählt.



HÖHLENTAUCHEN IST EIN FASZINIERENDER TEILBEREICH DES TECHNISCHEN TAUCHENS. DER EINTRITT IN DIE „UNTERWELT“ ERFORDERT ABER NEBEN DER SPEZIELLE AUSBILDUNG EINE BESONDERS EXAKTE PLANUNG UND BERÜCKSICHTIGUNG VON NOTFALLSZENARIEN.



Unterschiedlicher Fülldruck

Die Flaschen von Taucher B wurden „schlecht“ [nicht voll] gefüllt, d.h. sie enthalten lediglich 170 bar. Taucher B denkt sich „kein Problem, mein Gasverbrauch ist ohnehin geringer. Wir werden das Drittel in etwa zur gleichen Zeit verbraucht haben“. In der Tat, Taucher B taucht 30 Minuten, bis er 57 bar verbraucht hat. Am Ende des Tauchgangs haben beide Taucher etwa gleich viel Gas in den Flaschen und sind somit glücklich.

Fällt nun bei Taucher A am Umkehrpunkt das Gas aus, dann müssen beide Taucher auf dem Gerät von Taucher B hinaustauschen. Die Tabelle zeigt, dass das Gas nicht bis zur Oberfläche reicht. Es fehlt Gas für etwas mehr als eine Minute. (Tabelle oben)

Für die Berechnung des Drittels wird der kleinste Druck der Flaschen aller Taucher angesetzt.

Taucher A und Taucher B dürfen somit 50 bar auf dem Hinweg verbrauchen, d.h. sie drehen nach 20 Minuten um.

Team mit unterschiedlichen Flaschenvolumen

Frauen haben typischerweise einen geringeren Gasverbrauch als Männer. Deshalb könnte eine Tauchpartnerin eine kleinere Flasche mitnehmen. In unserem Beispiel taucht der Taucher mit einem D12-Gerät (215 bar) und hat ein AMV von 20 Litern. Seine Tauchpartnerin verwendet ein D7-Gerät (220 bar) bei einem AMV von 12 Litern. Der Taucher erreicht den Umkehrdruck nach 28 Minuten, die Taucherin nach 27 Minuten. Also soweit alles perfekt. Die beiden letzten Zeilen der folgenden Tabelle zeigen den Notfall. (Tabelle unten)

Beim Ausfall des Rückengerätes des Tauchers, tau-

Unterschiedlicher Fülldruck					
Start		Umkehrpunkt (28 Minuten)		Ausstieg (Ende)	
Taucher A	Taucher B	Taucher A	Taucher B	Taucher A	Taucher B
210 bar	170 bar	140 bar	117 bar	70 bar	65 bar
210 bar	170 bar	0 bar	117 bar	0 bar	-5 bar
210 bar	170 bar	140 bar	0 bar	17 bar	0 bar

Team mit unterschiedlichen Flaschenvolumen					
Start		Umkehrpunkt (27 Minuten)		Ausstieg (Ende)	
Taucher	Taucherin	Taucher	Taucherin	Taucher	Taucherin
215 bar (5.160 lt)	220 bar (3.080 lt)	147 bar (3.528 lt)	151 bar (2.114 lt)	70 bar	80 bar
210 bar	210 bar	147 bar	0 bar	39 bar	0 bar
210 bar	210 bar	0 bar	151 bar	0 bar	-35 bar

chen beide mit dem Gerät der Taucherin zurück. Für den Rückweg benötigen sie (ohne Anstieg des Atemminutenvolumens) 27 Minuten * (Liter / Minute / bar 20 + 12 Liter / Minute / bar) * 3 bar = 2.592 Liter. Das Gerät enthält nur 2.114 Liter. Es fehlen somit 478 Liter beziehungsweise 35 bar im D7-Gerät.

Lösung: Die Tauchpartnerin nimmt das Reservegas des Tauchers mit, d.h. sie hat die Sicherheitsreserve dabei. Somit ist für **das Überleben** wichtig, dass sich **jeder** Tauchpartner an die Drittelregel hält. Die Drittelregel für unterschiedliches Flaschenvolumen lautet: Jeder Taucher berechnet sein Gasvolumen (Taucher 24 Liter * 215 = 5.160 Liter und Taucherin 14 Liter * 220 = 3.080 Liter). Das kleinste der vorhandenen Gasvolumen wird zur Drittel Berechnung verwendet, d.h. 3.080 Liter. Jeder Taucher darf bis zum Umkehrdruck ein Drittel des kleinsten Gasvolumens bzw. das Drittelvolumen

verbrauchen. Für unser Beispiel 3.080 Liter / 3 = 1.026 Liter. Die 1.026 Liter entsprechen 73 bar, respektive 70 bar beim D7-Gerät und 42 bar bzw. 40 bar beim D12-Gerät.

Bei unterschiedlichen Flaschen-Volumen wird das kleinste Drittelvolumen zur Berechnung des Umkehrdruckes verwendet.

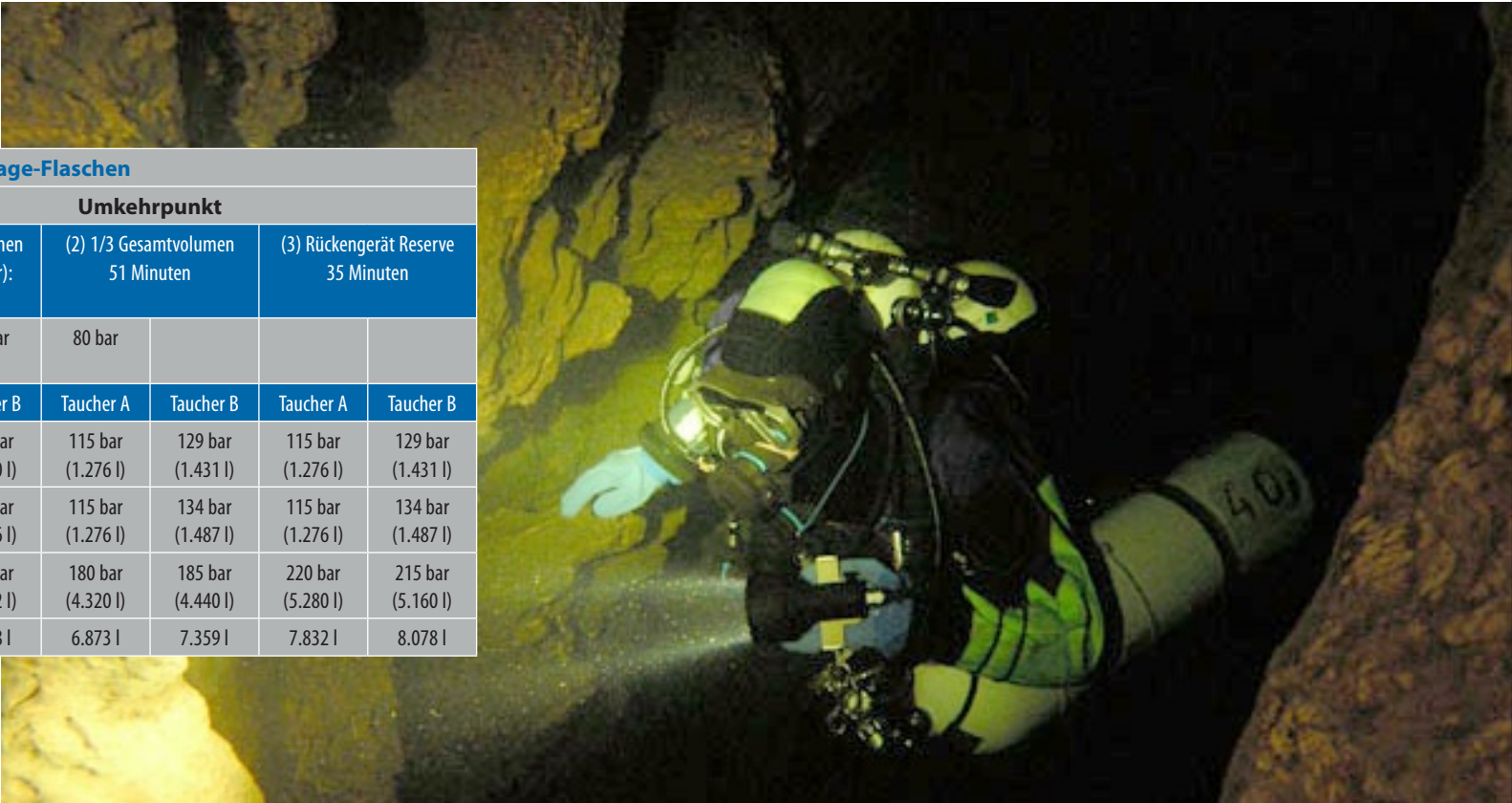
Tauchen mit Stage-Flaschen

Bei der Verwendung von Stage-Flaschen werden drei Strategien angewendet:

- 1. Die Drittelregel wird für alle Flaschen angewendet.
- 2. Die Drittelregel wird auf das Gesamtgasvolumen angewendet, die Stage-Flaschen werden jeweils bis zur Hälfte plus 10 bar (210bar/2+10bar = 115 bar) abgeatmet.
- 3. Das Rückengerät dient als Notfallgas, Prozedur für Stage-Flaschen siehe Punkt 2.

Bei diesen drei Strategien werden alle Gaswechsel gleichzeitig im Team durchgeführt. Sollte ein Teammitglied seine Flasche ablegen, so tun dies

DETAILLIERTE STRATEGIEN ZUR PLANUNG VON GASAUFSÄLLEN
SIND LEBENSNOTWENDIG UM DIE FASZINATION DER HÖHLE
GENIEßEN ZU KÖNNEN.



Tauchen mit Stage-Flaschen								
	Start		Umkehrpunkt					
			(1) 1/3 aus allen Flaschen (nach Magic Number): 50 Minuten		(2) 1/3 Gesamtvolumen 51 Minuten		(3) Rückengerät Reserve 35 Minuten	
	220 bar (3.080 lt)	147 bar (3.528 lt)	151 bar (2.114 lt)	70 bar	80 bar			
	Taucher A	Taucher B	Taucher A	Taucher B	Taucher A	Taucher B	Taucher A	Taucher B
Erste Stage	210 bar (2.310 l)	200 bar (2.220 l)	150 bar (1.665 l)	155 bar (1.720 l)	115 bar (1.276 l)	129 bar (1.431 l)	115 bar (1.276 l)	129 bar (1.431 l)
Zweite Stage	210 bar (2.310 l)	205 bar (2.275 l)	150 bar (1.665 l)	160 bar (1.776 l)	115 bar (1.276 l)	134 bar (1.487 l)	115 bar (1.276 l)	134 bar (1.487 l)
Rücken- gerät	220 bar (5.280 l)	215 bar (5.160 l)	150 bar (3.600 l)	163 bar (3.912 l)	180 bar (4.320 l)	185 bar (4.440 l)	220 bar (5.280 l)	215 bar (5.160 l)
Total	9.900 l	9.655 l	6.930 l	7.408 l	6.873 l	7.359 l	7.832 l	8.078 l

alle anderen Teammitglieder auch. Legt jeder die Stage-Flasche individuell ab wird der Tauchgang unruhig, zahlreiche Stopps verzögern das Weiterkommen und die Sicherheit leidet unter dieser „individualisierten Variante“.

Wichtig: Jede Stage-Flasche, aus welcher nicht geatmet wird - egal ob abgelegt oder am Taucher - sollte geschlossene Ventile aufweisen. Eine offene Stage-Flasche kann unbemerkt abströmen (undichter O-Ring, unbemerktes Betätigen der Luftdusche des Atemreglers, Leck am Finimeter).

Unseren Tauchgang auf 20m führen wir nun mit zwei 80cuf-Stages (diese entsprechen zwei 11.1-Liter-Flaschen) und einem D12-Gerät als Rückengerät durch. Wieder sind Taucher A, 20 Liter AMV, und Taucher B, 15 Liter AMV, unterwegs. An dieser Stelle betrachten wir den Ausfall des Rückengeräts, den Ausfall einer Stage, den Ausfall von Rücken- und Stageflasche und zuletzt den Ausfall beider Stages. Durch seinen höheren Gasverbrauch bestimmt Taucher A, wann die Stage-Flaschen abgelegt werden und den Zeitpunkt der Umkehr.

Strategie 1: Bei 1/3 aus allen Flaschen drehen die beiden Taucher nach 50 Minuten. (Bei den beiden Stage-Flaschen sind jeweils nach 11 Minuten 60 bar verbraucht (1/3). Aus dem ersten Beispiel wissen wir, dass das Rückengerät für 28 Minuten reicht (Verbrauch von 70 bar). Die Dauer des Hinweges beträgt somit 2 x 11 Minuten plus 28 Minuten = 50 Minuten.)

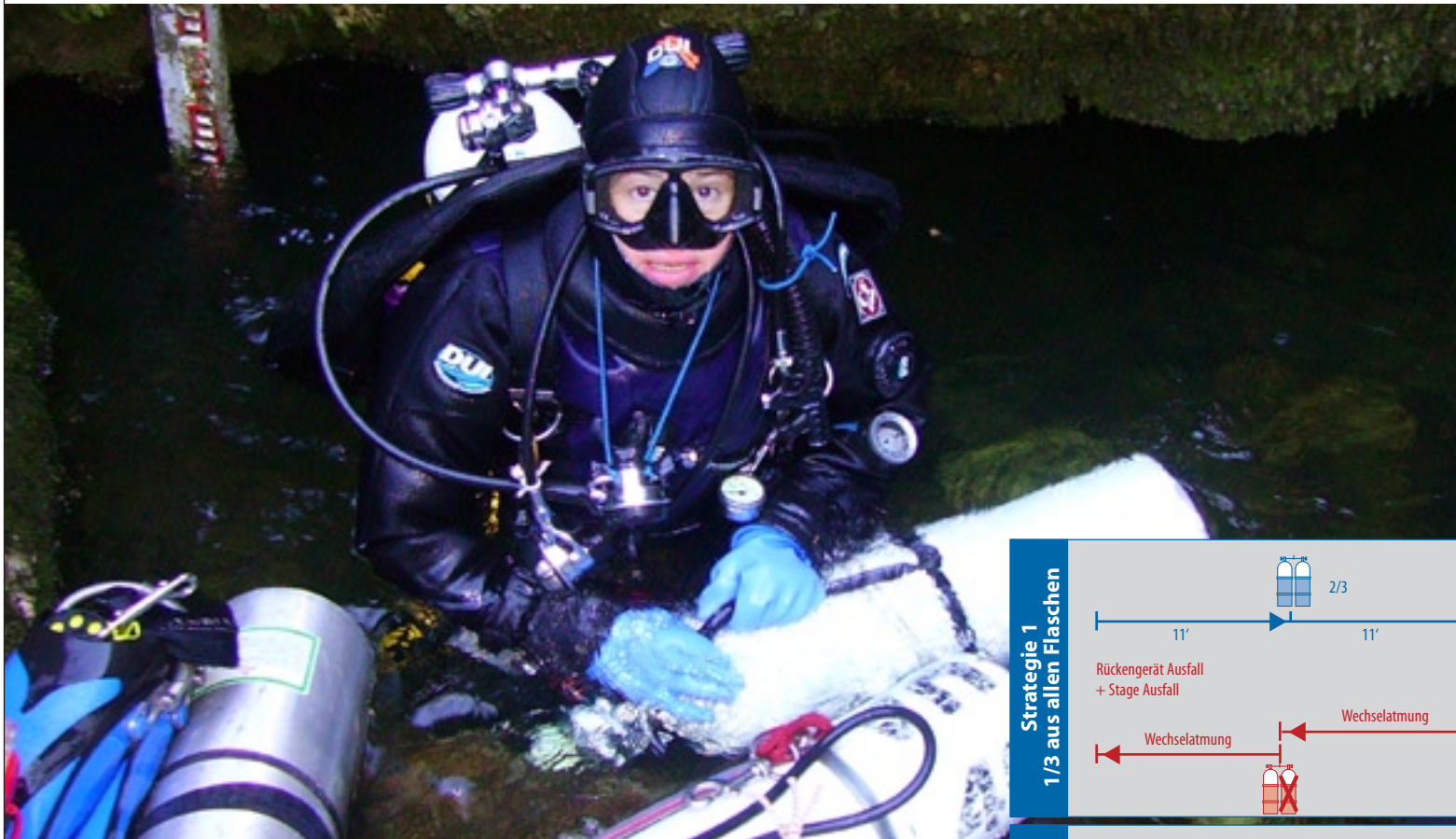
Strategie 2: Wird nach 1/3 Gesamtvolumen getaucht, dann dürfen 3.200 Liter veratmet werden, d.h. jeweils 95 bar aus der Stage-Flasche (1/2-10 bar). Dies entspricht einem Volumen von 1.050 Liter und einer Tauchzeit von 17.5 Minuten und somit noch einem Volumen von 1.100 Liter aus dem Rückengerät (45 bar). Um die Sicherheit zu erhöhen, runden die beiden Taucher die 45 bar auf 40 bar ab (960 l), dies entspricht einer Tauchzeit von 16 Minuten. Die Taucher kehren somit nach 51 Minuten um.

Strategie 3: Wird das Rückengerät nur als Reserve betrachtet, wird nach 35 Minuten gedreht. Dies entspricht in etwa 1/5 des Gasvorrates für den Hinweg.

Ausfall Stage-Flaschen
Der Ausfall einer bzw. beider Stage-Flaschen kann bei allen drei Strategien von jedem Taucher durch die Verwendung seines Rückengerätes überbrückt werden. Für den 51-minütigen Rückweg (maximale Dauer bis zur Oberfläche) benötigt Taucher A 3.060 Liter und Taucher B 2.295 Liter. Der Gasverbrauch von A darf sich im Notfall (Strategie 1) maximal um 15% erhöhen, dann könnte er noch mit seinem Rückengerät den Ausstieg erreichen. Steigt der Gasverbrauch stärker an, hat Taucher B noch Reserven. Bei allen drei Strategien können somit alle vier Stage-Flaschen ausfallen, und die Taucher können trotzdem sicher zur Oberfläche zurückkehren.

Ausfall Rückengerät
Wie sieht es aus, wenn das Rückengerät ausfällt? Beim Umkehrpunkt unter Anwendung von Strategie 1 und 2 sind beide Taucher nur noch mit Rückengerät unterwegs. Strategie 1 wurde unter Team mit identischen Flaschen behandelt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass man am Ende der Notfallbeschreibung erst beim Stagedepot angelangt ist. So muss man noch 22 Minuten weiter bis zum Ausgang schwimmen. Bei Strategie 2 ist mehr Gas im Rückengerät vorhanden (ca. 700 Liter mehr im Vergleich zu Strategie 1), d.h. das Gas reicht bei weitem bis zum Erreichen der letzten beiden Stage-Flaschen.

Bei Strategie 3 kann jeder Taucher beim Ausfall des Rückengerätes autonom zurück tauchen, sofern der Gasverbrauch nicht ansteigt. Sollte dies doch geschehen, so kann der Tauchpartner mit seinem



Rückengerät (oder der Stage-Flasche) aushelfen.

Ausfall Rückengerät und einer Stage

Fällt nach dem Ausfall des Rückengerätes noch eine Stage-Flasche aus, muss man die verbleibenden Stage-Flasche(n) gemeinsam nutzen, evtl. mit Wechselatmung.

Fällt eine Stage-Flasche aus, dann sieht die Situation in unserem Beispiel bei der Anwendung der Strategie 2 wie folgt aus:

- Ausfall des Rückengerätes von Taucher B
- Restgas im Rückengerät des Tauchers A: 4.320 Liter
- Verbrauch von Taucher A und B zusammen bis zu den Stage-Flaschen (16 Minuten): 1.680 Liter
- Restgas im Rückengerät von Taucher A: 2.640 Liter

RÜCKENGERÄTE ALS REINE BACKUP-FLASCHEN UND ATMUNG AUS DEN STAGEFLASCHEN IST EINE DER MÖGLICHEN SICHERHEITS-STRATEGIEN BEI HÖHLENTAUCHERN.

- Benötigte Gasmenge von Taucher A zur Überbrückung einer ausgefallenen Stage-Flasche: 1.050 Liter. Da Taucher B das Gas seines Rückengerätes verloren hat, wird er seine verbleibenden Stage-Flaschen veratmen.

Es könnte somit auch der Ausfall zweier Stage-Flaschen verkräftet werden, falls das Atemminutenvolumen nur leicht ansteigt.

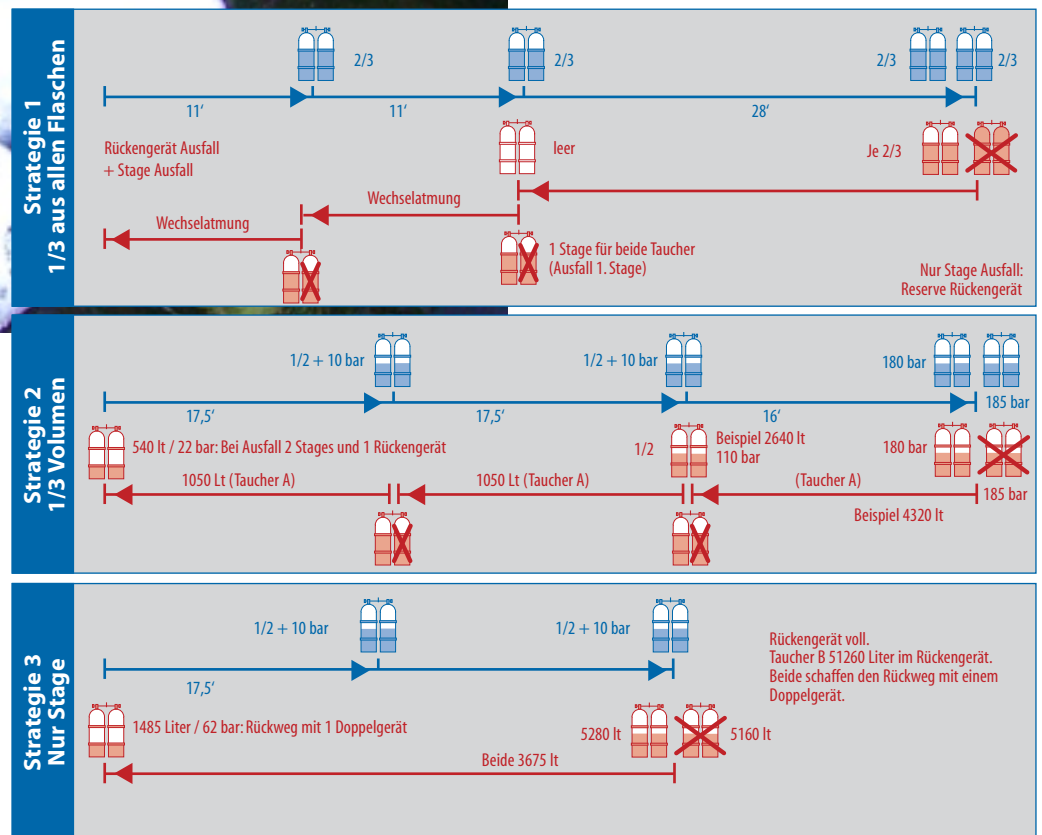
Bei Strategie 3 kann ein Taucher mit zwei Stage-Flaschen zurücktauchen, evtl. mit Gas Unterstützung seines Tauchpartners (falls sich der Gasverbrauch in der Notsituation erhöht). Beide Taucher kön-

nen auch mit einem einzigen Rückengerät bis zur Oberfläche tauchen. Der Gasverbrauch von beiden Tauchern auf dem Hinweg beträgt $35 \times 3 \times (15 + 20) = 3.675$ Liter. Der Gasvorrat beim Ausfall eines Rückengerätes und aller Stages beträgt mindestens 5.160 Liter (Rückengerät Taucher B). Der Gasverbrauch darf sich so für den Rückweg um max 40% erhöhen.

Tauchen mit Scooter (DPV)

Scooter führen einen Taucher ohne Anstrengung schnell und gleichzeitig sehr weit weg vom Ausgang. Die Schwimmgeschwindigkeit liegt typischerweise im Bereich von 15 Meter pro Minute. Beim Einsatz von DPVs werden Geschwindigkeiten zwischen 45 Meter (gemütlich) und 90 Meter (unangenehm schnell) erreicht. Somit ist man mit einem Scooter drei bis sechsmal schneller. Der Gasverbrauch ist ca. um Faktor 1.5 tiefer.

Bei unserem Planungstauchgang gehen wir von





einer viermal höheren Geschwindigkeit mit DPV und einem 1.5fach verringerten Luftverbrauch aus. Beim Ausfall des Scooters benötigen wir somit sechsmal mehr Gas für den Rückweg als für den Hinweg.

Meine persönliche Empfehlung lautet beim Scootern ohne Backup-Scooter: eine halbe 80cuf-Stage-Flasche für den Hinweg und mindestens ein D12-Gerät als Sicherheitsreserve auf dem Rücken.

Wieder stehen Taucher A und Taucher B im Einsatz. Die Fülldrücke entsprechend dem Beispiel Tauchen mit Stage-Flaschen, zweite Stage-Flasche in Verwendung. Der Gasverbrauch sinkt bei Taucher A auf 13 Liter (anstelle von 20 Litern) und bei Taucher B auf 10 Liter (statt 15 Liter). Mit einer

1/2 Stage-Flasche plus 10 bar können die Taucher somit 27 Minuten hineinfahren. Beim Ausfall einer Stage-Flasche reicht das Rückengerät bei weitem, um zum Ausstieg zu fahren.

Können die beiden Taucher nicht mehr zurück fahren, stehen Taucher A 6.550 Liter für den Rückweg zur Verfügung und Taucher B 6.640 Liter. Für den schwimmenden Rückweg benötigt Taucher A 6.480 Liter ($4 \times 27 \text{ Minuten} \times 3 \text{ bar} \times 20 \text{ Liter / bar}$). Es geht sich also exakt aus (70 Liter Reserve).

Was aber geschieht, wenn ein weiterer Gasausfall hinzukommt? In dieser Situation kann nur Abschleppen helfen, d.h. beide Taucher werden mit einem Scooter hinausgezogen. Die Fahrgeschwindigkeit wird deutlich reduziert, schätzungsweise um den

Faktor 2. Der Gasverbrauch wird ebenfalls höher ausfallen (Annahme: 25%). Somit benötigen beide Taucher für den Rückweg 54 Minuten und ein Volumen von 4.658 Liter Gas. Ein Finimeter, an eine D12 (zu Beginn auf 210 bar gefüllt) angeschlossen, zeigt am Ende des Beispiel-Tauchgangs noch 15 bar an.

Beim Ausfall eines Scooters verändern sich die Tauchgangsparameter bedeutend. Anstelle von 52 Minuten in der Höhle, verbringt ein Taucher 81 Minuten (abschleppen) beziehungsweise 135 Minuten (schwimmend). Die Lampenbrenndauer, die Dekompressionszeiten, Hunger, „Pampers“ und die Auskühlung bewegen sich plötzlich in ganz anderen Dimensionen und müssen entsprechend bei der Gasplanung berücksichtigt werden.

Zusammengefasst: Ohne Backup/Reserve-Scooter sollte maximal eine 80cuf-Stage ausgefahren werden, d.h. bei 1/2-Stage+10bar wird umgekehrt.

Anmerkung:

Alle genannten Beispiele sind nicht anwendbar bei Schwinden (Strömung in die Höhle hinein). Verschlechterte Sicht auf dem Rückweg, Verengungen, Dekompressionsstopps und weitere Unwägbarkeiten können den Gasverbrauch für den Rückweg deutlich erhöhen.

Disclaimer:

Die hier gezeigten Tauchgangspläne sind beispielhaft. Bei veränderten Eingangsparametern (Flaschengröße, Fülldruck, Atemminutenvolumen) muss die Planung angepasst werden. Eine hundertprozentige Sicherheit gibt es nicht! Es besteht immer ein minimales Risiko, dass die Oberfläche nicht mehr erreicht werden kann. Die Durchführung von Tauchgängen dieser Art erfordert eine entsprechende Ausbildung und angemessene Erfahrung. UA

