

Vermeidung von Hyperoxie beim Nitrox-Tauchen

Sich zu lange erhöhtem Sauerstoff- Partialdruck auszusetzen kann zu Sauerstoff- Vergiftungs- (Hyperoxie-) Problemen führen, daher gibt es Tiefen Grenzen (genauer gesagt O₂-Partialdruck-Limits) und Partialdruck- Zeit Limits.

Einen der Epilepsie vergleichbaren Krampfanfall unter Wasser zu bekommen, während man durch ein Mundstück atmet, ist viel gefährlicher als in der sicheren Umgebung einer Druckkammer, daher unterscheiden sich die Grenzwerte für unterschiedliche Situationen so sehr. CO₂, sprich Anstrengung, erhöht das obendrein Risiko von ZNS- (engl.: CNS-) Problemen beim Atmen von Gasen mit erhöhtem Sauerstoff- Teildruck (ppO₂). Das Risiko einen Sauerstoffkrampf zu erleiden wächst mit ppO₂, Einwirkungszeit, Körperlicher Belastung, Streß, Angst und Unwohlsein.

ppO₂-Grenzwerte:

- <0,12bar - ohne Anpassung: zu niedrig (Ohnmacht, Tot)
- 0,16bar - Minimum für uneingeschränkte normale Funktion
- 0,21bar - ist wofür Gott für die Menschen vorsah 😊
- 0,3 bar - Langzeit Aufenthalt (ohne Lungen Toxizitäts Probleme)
- 0,5 bar - Maximalwert für Langzeit- Tauchgänge (24h),
- erste Symptome des "Lorraine Smith Effekts"
- 1,0 bar - übliche Einstellung für das Magnetventil bei Hobby CCR-Tauchgängen
- 1,4 bar - RAB: kaltes Wasser / Anstrengung
- 1,6 bar - RAB: warmes Wasser / einfache Bedingungen
- 2,0 bar - Marine (nur unter Ausnahmbedingungen)
- Dekompressionskammer, max 3h
- 3,0 bar - im IDA71-Manual als kurze Passage-Einwirkung gefunden
- Dekompressionskammer, max 2h
- 4,0 bar - Dekompressionskammer, max 40min.

Mit Sauerstoff- Teildrücken oberhalb von 0,5bar zu tauchen bedeutet zwei Uhren zu beachten die den Tauchgang durch die Gefahr toxischer Effekte begrenzen.

1. ZNS – Toxizität
2. Lungen Toxizität

ZNS-Toxizität, "Paul Bert Effect":

Bei Sauerstoff Teildrücken oberhalb 1,7bar kommt es innerhalb relativ kurzer Zeit zu Krampfanfällen, die man am besten mit denen der Epilepsie vergleichen kann. Dies ist extrem gefährlich wenn es bedeutet sein Mundstück zu verlieren und Wasser einzuatmen ! Je höher der Sauerstoff- Partialdruck ist, desto kürzer ist die Zeitspanne bis das Risiko den akzeptierten Rahmen überschreitet.

Die Anfälle beginnen zumeist mit Zuckungen im Bereich des Mundes und der Augenlider, zuvor können schnellerer Puls, Übelkeit, Schwindelgefühl und Röhrensehen als erste Signale auftreten. Atemprobleme die sich in einer schnellen, flachen Atmung äußern, verbunden mit Erstickungsgefühlen und Beklemmungen bilden dann die Überleitung bis es sehr schnell zu tonischen Krämpfen des ganzen Körpers und Bewusstseinsverlust kommt.

U.S. Navy Diving Manual (1973):

Normale Umstände		Im Notfall	
Zeit/min	ppO ₂ -max/bar	Zeit/min	ppO ₂ -max/bar
30	1,6	30	2,0
40	1,5	40	1,9
50	1,4		
60	1,3	60	1,8
80	1,2	80	1,7
120	1,1	120	1,5
		180	1,4
240	1,0	240	1,3

NOAA Limits unter Arbeitsbedingungen (1990):

ppO ₂ /bar	Zeit/Tag [min]	Zeit/Tg[min]	Zeit/Tg[min] <u>im Notfall</u>
0,6	720	720	
0,7	570	570	
0,8	450	450	
0,9	380	380	
1,0	330	300	
1,1	270	240	
1,2	240	210	
1,3	210	180	240
1,4	180	150	180
1,5	180	120	150
1,6	150	45	120
1,7			75
1,8			60
1,9			45
2,0			30

Oberflächenpause (ppO₂=0,21bar) zwischen zwei Tauchgängen: mindestens 45 Minuten.

ppO2 [bar]	CNS O2% [%/min]	Tauchzeit [min]	ppO2 [bar]	CNS O2% [%/min]	Tauchzeit [min]
0,50	0,00	∞	1,22	0,48	208
0,60	0,14	714	1,24	0,51	196
0,64	0,15	667	1,26	0,52	192
0,68	0,17	588	1,28	0,54	185
0,70	0,18	556	1,30	0,56	179
0,74	0,19	526	1,32	0,57	175
0,76	0,20	500	1,34	0,60	167
0,78	0,21	476	1,36	0,62	161
0,80	0,22	455	1,38	0,63	159
0,82	0,23	435	1,40	0,65	154
0,84	0,24	417	1,42	0,68	147
0,86	0,25	400	1,44	0,71	141
0,88	0,26	385	1,46	0,74	135
0,90	0,28	357	1,48	0,78	128
0,92	0,29	345	1,50	0,83	120
0,94	0,30	333	1,52	0,93	108
0,96	0,31	323	1,54	1,04	96
0,98	0,32	313	1,56	1,19	84
1,00	0,33	303	1,58	1,47	68
1,02	0,35	286	1,60	2,22	45
1,04	0,36	278	1,62	5,00	20
1,06	0,38	263	1,65	6,25	16
1,08	0,40	250	1,67	7,69	13
1,10	0,42	238	1,70	10,0	10
1,12	0,43	233	1,72	12,5	8
1,14	0,43	233	1,74	20,0	5
1,16	0,44	227	1,77	25,0	4
1,18	0,46	217	1,79	31,25	3
1,20	0,47	213	1,80	50	2

Erholzeit [h:min]	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	4:30	5:00	6:00	9:00
Multiplikator	0,8	0,63	0,5	0,4	0,31	0,25	0,2	0,16	0,13	0,1	0,06	0

Beispiel:

1. TG 2h bei ppO₂=1,3bar, 3h 15min Oberflächenpause bei ppO₂=0,21bar,
2. TG 1h bei ppO₂=0,7bar

$$120\text{Minuten} * 0,56\text{CNS\%/min} = 67,2\text{CNS\%}$$

$$67,2\text{CNS\%} * 0,25 = 16,8\text{CNS\%}$$

$$16,8\text{CNS\%} + 60\text{Minuten} * 0,18\text{CNS\%/min} = 27,6\text{CNS\%}$$

Lungenschädigungen, "Liorraine Smith Effect":

Die Symptome können in jeder beliebigen Reihenfolge auftreten: Husten ohne Auswurf, erhöhter Atemwiderstand, Schwierigkeiten tief Einzuatmen, niedrigere Vitalkapazität, Engegefühl unter dem Brustbein, Schmerzen in den Bronchien, Ungeschicklichkeit und Koordinationsprobleme.

Als eine Ursache wird die zerstörende Wirkung hohen Sauerstoff- Partialdrucks auf die oberflächenaktive Substanz (Sufactant) in den Alveolen angesehen. Aufgrund der elastischen Struktur des Lungengewebes haben die Alveolen die Tendenz bei der Ausatmung zusammenzufallen. In der ungeschädigten Lunge verhindert dies ein Oberflächenfilm aus Lipoproteinen indem er die Oberflächenspannung herabsetzt. Wird dieser Schutzfilm (Antiatelektasefaktor) durch über lange Zeit erhöhten O₂- Partialdruck zerstört, oder aber auch beim Ertrinken ausgewaschen, kommt es zu Kollaps und Ödembildung der Alveole.

Beim Liorraine Smith Effect kommt es zunächst zu einer Verdickung / Schwellung der Alveolen sowie auch der Wandungen der Lungengefäße, dann zu Ödembildung und bei weiterem Fortschreiten zum Zusammenfall von Alveolen (Atelektasen Bildung).

In den frühen 60´er Jahren wurde eine Einheit zur Messung der Lungentoxizität definiert:

UPTD (unit pulmonary toxic dose) = OTU (oxygen tolerance unit) = CPTD (cumulative pulmonary toxic dose)

1 OTU = 1bar-ppO₂ * 1minute

ppO ₂ /bar	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
OTU/min	0	0,285	0,49	0,658	0,881	1	1,18	1,32	1,47	1,62	1,77

ppO ₂ /bar	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
OTU/min	1,92	2,01	2,2	2,34	2,48	2,61	2,74	2,88	3,0	3,14

Tauchtage	Mittelwert OTU/Tag	Summe OTU's
1	850	850
2	700	1400
3	620	1860
4	525	2100
5	460	2300
6	420	2520
7	380	2660
>7	300	

Nitrox-Tauchen bedeutet also 3 unabhängige Tauchtabellen beachten zu müssen:

- 1) ZNS – Tox Tabelle
- 2) OTU – Tabelle

3) Dekompressions – Tabelle

Es empfiehlt sich zur Übung auszurechnen wann die OTU's zum begrenzenden Faktor werden, speziell wenn man ihr Limit nur zu 70% ausnutzen möchte. Die OTU's sind nun mal ein Maß für das durchschnittliche Erreichen einer bestimmten, messbaren körperlichen Beeinträchtigung.