

Die Uhren der Sauerstoff-Toxizität

Schädigung der Lunge (Lorrain-Smith-Effekt)

OTU-clock

Freie Radikale zerstören das Enzym in der Lunge, welches die Oberflächenspannung der Alveolen herabsetzt ⇒ Verdickung der Alveolen, Gasaustausch behindert, Alveolen fallen zusammen ⇒ Hypoxie. Einwirkdauer mindestens 24 h mit $PO_2 > 0,3$ bar.
Symptome: Hustenreiz, Engegefühl in der Brust, später Atemnot, Brennen hinter dem Brustbein, schaumiger Auswurf.

Grundlage der Berechnung:

Oxygen Tolerance Unit (OTU)

1UPTD = 1min O_2 Atmung bei 1 bar *Unit of Pulmonary Toxicity Dose*

$$OTU = t[\text{min}] \left\{ \frac{PO_2 - 0,5}{0,5} \right\}^{0,83}$$

1425 UPTD \cong Abnahme der Vitalkapazität um 10% (≈ 24 h)

Verfolgung der Lungentoxizität nur für Behandlungszwecke, für Repetitiv-TG ungeeignet! ⇒ Repex-Methode (Dr. Hamilton)
⇒ **OTU = allmählich angereicherte, allgemein tolerierte O_2 -Dosis**, $PO_2 < 0,5$ bar unkritisch, Exponent empirisch gefunden

tolerierte OTU's pro Tauchtag	1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag	8.Tag	9.Tag	10.Tag	>10
	850	700	620	525	460	420	380	350	330	310	300

Die OTU's müssen für die Grundzeit und jede Deco-Stufe des Tauchgangs errechnet und addiert werden (OTU Tabelle).

Schädigung des ZNS (Paul-Bert-Effekt)

CNS-clock

Hoher pO_2 stört die Nervenfunktionen im Zentralen Nervensystem ⇒ unkoordinierte Impulse an die Muskulatur und Organe.
Symptome: **Zuckungen im Gesicht sind häufigstes Warnsignal**, dann sofort Krämpfe, Bewusstlosigkeit. ⇒ **Ertrinken!**

Merke: CONVENTID

CONvulsion	Vision	Ears	Nausea	Twitching	Irritability	Dizziness
Krampfanfall	Sehen	Ohren	Übelkeit	Zuckungen	Reizbarkeit	Benommenheit
Auftreten ohne Vorwarnung	Tunnelsehen, Sehstörungen	Klingeln, Geräusche	Periodisches Auftreten möglich	Mund und Augenlider	Angst, Verwirrung, Stimmung	Müdigkeit, Schwindel, Drehschwindel

CNS-Grenzwert: **100% \cong 45 min. | $pO_2 = 1,6$ bar**

abhängig von Tagesform, Temperatur, Belastung (empirisch gefunden) - Sicherheitszuschläge beachten!

Maximale Expositionszeiten (nicht vorbelastet)

O_2 -Partialdruck	pO_2 [bar]	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00
einzel	Zeit [min]	45	120	150	180	210	240	300
über 24 h	Zeit [min]	120	150	180	210	240	270	300

Die CNS-clock sollte am Tag niemals 100% erreichen, Sicherheitsreserve = 80% (\cong ca. 120 min. | $pO_2 = 1,4$ bar)

Für kalte Gewässer, Arbeitsbelastung sollte ein pO_2 tol. $\leq 1,4$ bar nicht überschritten werden!

Der angereicherte CNS-Wert baut sich an der Oberfläche mit einer Halbwertszeit von **90 min** ab. Diesen Reduktionsfaktor („negativer Zeitzuschlag“) für Wiederholungstauchgänge beachten. **Werte aus CNS- O_2 -Tabelle (NOAA) entnehmen.**

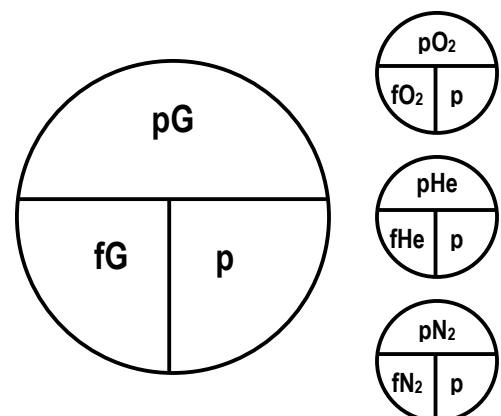
Merkhilfe zur Mischgasberechnung (DALTONS'S VERMÄCHTNIS)

$$fG = \frac{pG}{p}$$

$$pG = fG \cdot p$$

$$p = \frac{pG}{fG}$$

pG =Partialdruck des Gases [bar]
 p =Gesamtdruck [bar]
 fG =Fraction (Anteil) des Einzel-Gases



Sauerstoff		O2-Anteil im Mix												
PO2	OTU/min	10%	12%	15%	17%	21%	28%	32%	36%	40%	50%	60%	80%	100%
0,50	0,00	40	32	23	19	14	8	6						
0,55	0,15	45	36	27	22	16	10	7	5				MOD [m]	
0,60	0,26	50	40	30	25	19	11	9	7	5				
0,65	0,37	55	44	33	28	21	13	10	8	6				
0,70	0,47	60	48	37	31	23	15	12	9	8				
0,75	0,56	65	53	40	34	26	17	13	11	9	5			
0,80	0,65	70	57	43	37	28	19	15	12	10	6			
0,85	0,74	75	61	47	40	30	20	17	14	11	7			
0,90	0,83	80	65	50	43	33	22	18	15	13	8	5		
0,95	0,92	85	69	53	46	35	24	20	16	14	9	6		
1,00	1,00	90	73	57	49	38	26	21	18	15	10	7		
1,05	1,08	95	78	60	52	40	28	23	19	16	11	8		
1,10	1,16	100	82	63	55	42	29	24	21	18	12	8		
1,15	1,24	105	86	67	58	45	31	26	22	19	13	9		
1,20	1,32	110	90	70	61	47	33	28	23	20	14	10	5	
1,25	1,40	115	94	73	64	50	35	29	25	21	15	11	6	
1,30	1,48	120	98	77	66	52	36	31	26	23	16	12	6	
1,35	1,55	125	103	80	69	54	38	32	28	24	17	13	7	
1,40	1,63	130	107	83	72	57	40	34	29	25	18	13	8	
1,45	1,70	135	111	87	75	59	42	35	30	26	19	14	8	
1,50	1,78	140	115	90	78	61	44	37	32	28	20	15	9	5
1,55	1,85	145	119	93	81	64	45	38	33	29	21	16	9	6
1,60	1,92	150	123	97	84	66	47	40	34	30	22	17	10	6
1,65	2,00	155	128	100	87	69	49	42	36	31	23	18	11	7
1,70	2,07	160	132	103	90	71	51	43	37	33	24	18	11	7
1,75	2,14	165	136	107	93	73	53	45	39	34	25	19	12	8
1,80	2,21	170	140	110	96	76	54	46	40	35	26	20	13	8
1,85	2,28	175	144	113	99	78	56	48	41	36	27	21	13	9
1,90	2,35	180	148	117	102	80	58	49	43	38	28	22	14	9
1,95	2,42	185	153	120	105	83	60	51	44	39	29	23	14	10
2,00	2,49	190	157	123	108	85	61	53	46	40	30	23	15	10
2,05	2,56	195	161	127	111	88	63	54	47	41	31	24	16	11
2,10	2,63	200	165	130	114	90	65	56	48	43	32	25	16	11
2,15	2,69	205	169	133	116	92	67	57	50	44	33	26	17	12
2,20	2,76	210	173	137	119	95	69	59	51	45	34	27	18	12
2,25	2,83	215	178	140	122	97	70	60	53	46	35	28	18	13
2,30	2,90	220	182	143	125	100	72	62	54	48	36	28	19	13
2,35	2,96	225	186	147	128	102	74	63	55	49	37	29	19	14
2,40	3,03	230	190	150	131	104	76	65	57	50	38	30	20	14
2,45	3,09	235	194	153	134	107	78	67	58	51	39	31	21	15
2,50	3,16	240	198	157	137	109	79	68	59	53	40	32	21	15

maximale Operationstiefe [m]

Verwendung auf eigene Gefahr !

OTU-Tabelle

theoretische maximale Tauchzeit [h] bei mehreren Tauchtagen

Verwendung auf eigene Gefahr !

© A.Baumgarten

tolerierte OTU's		1.Tag	2.Tag	3.Tag	4.Tag	5.Tag	6.Tag	7.Tag	8.Tag	9.Tag	10.Tag	>10
PO ₂	OTU/min	850	700	620	525	460	420	380	350	330	310	300
0,50	0,00	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
0,55	0,15	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
0,60	0,26	24	24	24	24	24	24	24	22	21	19 1/2	19
0,65	0,37	24	24	24	24	21	19	17	16	15	14	13 1/2
0,70	0,47	24	24	22	18 1/2	16 1/2	15	13 1/2	12 1/2	12	11	10 1/2
0,75	0,56	24	20 1/2	18 1/2	15 1/2	13 1/2	12 1/2	11 1/2	10 1/2	10	9	9
0,80	0,65	21 1/2	18	16	13 1/2	11 1/2	10 1/2	9 1/2	9	8 1/2	8	7 1/2
0,85	0,74	19	15 1/2	14	12	10 1/2	9 1/2	8 1/2	8	7 1/2	7	6 1/2
0,90	0,83	17	14	12 1/2	10 1/2	9	8 1/2	7 1/2	7	6 1/2	6	6
0,95	0,92	15 1/2	12 1/2	11 1/2	9 1/2	8 1/2	7 1/2	7	6 1/2	6	5 1/2	5 1/2
1,00	1,00	14	11 1/2	10 1/2	8 1/2	7 1/2	7	6 1/2	6	5 1/2	5	5
1,05	1,08	13	11	9 1/2	8	7	6 1/2	6	5 1/2	5	5	4 1/2
1,10	1,16	12	10	9	7 1/2	6 1/2	6	5 1/2	5	4 1/2	4 1/2	4 1/2
1,15	1,24	11 1/2	9 1/2	8 1/2	7	6	5 1/2	5	4 1/2	4 1/2	4	4
1,20	1,32	10 1/2	9	8	6 1/2	6	5 1/2	5	4 1/2	4	4	4
1,25	1,40	10	8 1/2	7 1/2	6	5 1/2	5	4 1/2	4	4	3 1/2	3 1/2
1,30	1,48	9 1/2	8	7	6	5	4 1/2	4 1/2	4	3 1/2	3 1/2	3 1/2
1,35	1,55	9	7 1/2	6 1/2	5 1/2	5	4 1/2	4	4	3 1/2	3 1/2	3
1,40	1,63	8 1/2	7	6 1/2	5 1/2	4 1/2	4 1/2	4	3 1/2	3 1/2	3	3
1,45	1,70	8 1/2	7	6	5	4 1/2	4	3 1/2	3 1/2	3	3	3
1,50	1,78	8	6 1/2	6	5	4 1/2	4	3 1/2	3 1/2	3	3	3
1,55	1,85	7 1/2	6 1/2	5 1/2	4 1/2	4	4	3 1/2	3	3	3	2 1/2
1,60	1,92	7 1/2	6	5 1/2	4 1/2	4	3 1/2	3 1/2	3	3	2 1/2	2 1/2
1,65	2,00	7	6	5	4 1/2	4	3 1/2	3	3	3	2 1/2	2 1/2
1,70	2,07	7	5 1/2	5	4	3 1/2	3 1/2	3	3	2 1/2	2 1/2	2 1/2
1,75	2,14	6 1/2	5 1/2	5	4	3 1/2	3 1/2	3	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2
1,80	2,21	6 1/2	5 1/2	4 1/2	4	3 1/2	3	3	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2 1/2
1,85	2,28	6	5	4 1/2	4	3 1/2	3	3	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2
1,90	2,35	6	5	4 1/2	3 1/2	3 1/2	3	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2	2
1,95	2,42	6	5	4 1/2	3 1/2	3	3	2 1/2	2 1/2	2 1/2	2	2
2,00	2,49	5 1/2	4 1/2	4	3 1/2	3	3	2 1/2	2 1/2	2	2	2

CNS-Tabelle nach NOAA

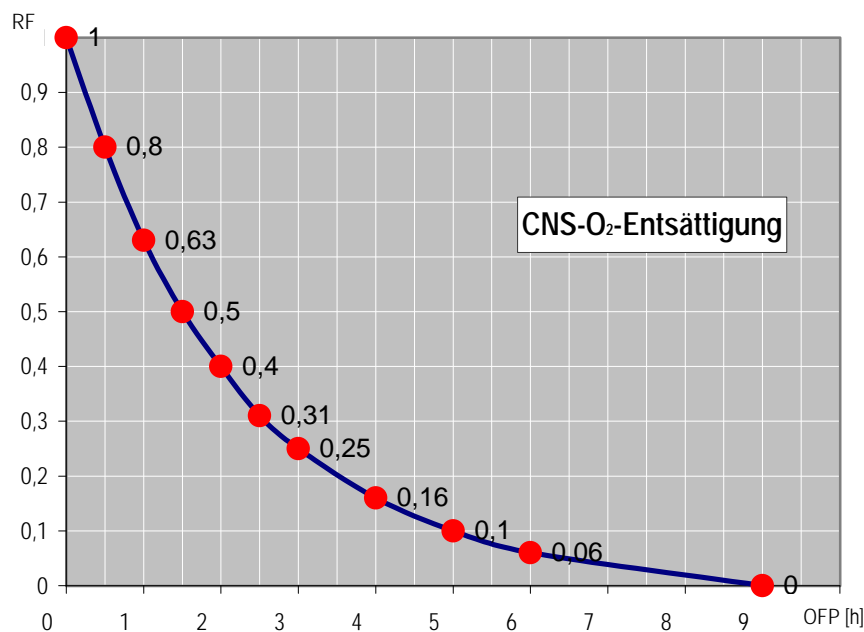
Verwendung auf eigene Gefahr !

OTU's	PO2	CNS O2	Tauchzeit max.
1/ min	bar	% / min	min
0,00	0,50	0,00	>
0,26	0,60	0,14	714
0,35	0,64	0,15	667
0,39	0,66	0,16	625
0,43	0,68	0,17	588
0,47	0,70	0,18	556
0,54	0,74	0,19	526
0,58	0,76	0,20	500
0,62	0,78	0,21	476
0,65	0,80	0,22	455
0,69	0,82	0,23	435
0,73	0,84	0,24	417
0,76	0,86	0,25	400
0,80	0,88	0,26	385
0,83	0,90	0,28	357
0,87	0,92	0,29	345
0,90	0,94	0,30	333
0,93	0,96	0,31	323
0,97	0,98	0,32	313
1,00	1,00	0,33	303
1,03	1,02	0,35	286
1,07	1,04	0,36	278
1,10	1,06	0,38	263
1,13	1,08	0,40	250
1,16	1,10	0,42	238
1,20	1,12	0,43	233
1,23	1,14	0,43	233
1,26	1,16	0,44	227
1,29	1,18	0,46	217
1,32	1,20	0,47	213

OTU's	PO2	CNS O2	Tauchzeit max.
1/ min	bar	% / min	min
1,35	1,22	0,48	208
1,38	1,24	0,51	196
1,42	1,26	0,52	192
1,45	1,28	0,54	185
1,48	1,30	0,56	179
1,51	1,32	0,57	175
1,54	1,34	0,60	167
1,57	1,36	0,62	161
1,60	1,38	0,63	159
1,63	1,40	0,65	154
1,66	1,42	0,68	147
1,69	1,44	0,71	141
1,72	1,46	0,74	135
1,75	1,48	0,78	128
1,78	1,50	0,83	120
1,81	1,52	0,93	108
1,84	1,54	1,04	96
1,87	1,56	1,19	84
1,89	1,58	1,47	68
1,92	1,60	2,22	45
1,95	1,62	5,00	20
2,00	1,65	6,25	16
2,03	1,67	7,69	13
2,07	1,70	10,00	10
2,10	1,72	12,50	8
2,13	1,74	20,00	5
2,15	1,76	25,00	4
2,18	1,78	33,33	3
2,21	1,80	50,00	2
2,24	1,82	100,00	1

Reduktionsfaktoren (RF) für Oberflächenpause (OFP)

© A.Baumgarten



RF	OFP [h]
1	0
0,8	1/2
0,63	1
0,5	1 1/2
0,4	2
0,31	2 1/2
0,25	3
0,16	4
0,1	5
0,06	6
0	9