
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Tauchmedizinische Forschung in der Schweiz	1
		xI
2	Abnorme atmosphärische Bedingungen	11
2.1	Höhe, Hypoxie	12
2.2	Hyperoxie und hyperbarer O ₂	15
2.3	Atemwegswiderstände bei Überdruck	16
2.4	Atmung und Kreislauf beim Tauchen, Zentralisation, Lungenödem	18
2.5	Tiefenrausch, N ₂ -Narkose	19
2.6	High pressure nervous syndrome (HPNS)	20
2.7	Hypothermie und Hyperthermie	24
	Aktueller Wissensstand	27
3	Zwischenfälle beim Tauchen	29
3.1	Der tödliche Tauchunfall: Ertrinken beim Sporttauchen	30
3.2	Nichttödliche Zwischenfälle beim Tauchen	33
3.2.1	Nasennebenhöhlen und Ohren	34
3.2.2	Lunge: Pneumothorax, „zentraler“ Lungenriss	39
3.2.3	Magen-Darm-Trakt	42
3.2.4	Auge	43
3.2.5	Zähne	44
3.3	Gasblasen und Gasansammlung im Gewebe bei konstantem Umgebungsdruck	44
3.4	Gasembolie bei Senkung des Umgebungsdrucks	45
3.4.1	Venöse Gasembolie, „explosive“ Dekompression, „blow up“	45
3.4.2	Arterielle Gasembolie während des Aufstauchens	47
3.5	Dekompressionskrankheit	49
3.5.1	Haut	50
3.5.2	Muskulatur	51
3.5.3	Gelenke, Bänder und Knochen, „bends“	52
3.5.4	Rückenmark	54

3.5.5	Differentialdiagnose zwischen Dekompressionskrankheit des Rückenmarks und Gasembolie in das Rückenmark nach „zentralem“ Lungenriss	55
3.5.6	Dekompressionskrankheit des Innenohrs	57
3.5.7	Tauchen mit Kunststoffprothesen	60
	Aktueller Wissensstand	60
4	Behandlung des verunglückten Tauchers	65
4.1	Notaufstieg und Nachholen der Dekompression im Wasser	66
4.2	Erste Hilfe, Transport des verunglückten Tauchers . .	66
4.3	Behandlung in der Überdruckkammer	68
4.3.1	Tauchgänge mit Luftatmung	68
4.3.2	Tieftauchen mit Atmung von O ₂ -Helium-Gemischen	71
4.3.3	Begleitende Maßnahmen bei der Behandlung	72
4.4	Spontanverlauf bei akuten Schädigungen des Innenohrs, des Gehirns oder des Rückenmarks .	72
4.5	Ergebnisse der Behandlung in der Überdruckkammer	74
4.5.1	Barotrauma des Ohres mit Innenohrsymptomen . .	74
4.5.2	Spinale Läsionen nach Gasembolie oder ungenügender Dekompression	76
4.5.3	Rezidive	80
4.5.4	Individuelle Dispositionen	81
	Aktueller Wissensstand	83
5	Inertgasaufnahme und -abgabe des menschlichen Körpers	85
5.1	Physikalische und biologische Grundlagen	86
5.1.1	Druck, Kraft, Arbeit	86
5.1.2	Zusammensetzung der atmosphärischen Luft. Berechnung des Teildrucks der Atemgase	87
5.1.3	Löslichkeit der Atemgase in wässrigen Lösungen und in Fett	91

5.1.4	Gastransport mit dem Blutkreislauf	93
5.1.5	Berechnung des Druckausgleichs der Inertgase zwischen Lunge, Blut und Gewebe	94
5.1.6	Spektrum der Halbwertszeiten für N ₂ und Helium .	97
5.1.7	Summierung der Inertgase im Gewebe	101
5.1.8	Vermehrte venöse Zumischung zum arteriellen Blut und Inertgasdruckausgleich zwischen Lunge und Gewebe	106
6	Symptomlos tolerierter Inertgasüberdruck im Gewebe	111
6.1	Klinische Erfahrung und Experimente	112
6.2	Tolerierter Inertgasüberdruck bei einem Umgebungsdruck von 1,0 bar	113
6.3	Tolerierter p _t N ₂ und p _t He bei einem Umgebungsdruck von 1,0 bar am Ende der Dekompression. Experimente	114
6.4	Identifikationen der Halbwertszeiten mit Geweben .	115
6.5	Lineare Beziehung zwischen Umgebungsdruck und symptomlos toleriertem Inertgasüberdruck . .	117
6.6	Inertgasabgabe bei Senkung des Umgebungsdrucks. Mikrogasblasen im venösen Blut	119
	Aktueller Wissensstand	124
7	Das Rechenmodell ZH-L16A	127
7.1	Empirische Grenzen für den tolerierten Inertgasüberdruck	128
7.2	Mathematische Ableitung des tolerierten N ₂ -Überdrucks von den N ₂ -Halbwertszeiten	129
7.3	Toleranzgrenzen für Helium	131

8 Theoretische Toleranzgrenzen und experimentelle Ergebnisse	133
8.1 Retrospektive Studien und prospektive reale Tauchgänge	134
8.2 Tolerierter $p_t N_2$ am Ende der Dekompression in Prozent der ZH-L16A-Grenzen. Ersttauchgänge mit Luft	135
8.3 Tolerierter $p_t He$ am Ende der Dekompression in Prozent der ZH-L16A-Grenzen. Ersttauchgänge ..	138
8.4 Tolerierter $p_t N_2$ in Abhängigkeit von unterschiedlichen Werten für den Umgebungsdruck. Ersttauchgänge mit Luft	139
8.5 Tolerierter $p_t He$ in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck	143
8.6 Sättigungstauchgänge mit N_2 und mit Helium	144
8.7 Wiederholte Tauchgänge mit Luft	147
8.8 Dekompressionen in die Höhe nach einem Tauchgang. Fliegen nach dem Tauchen	149
8.9 Erfahrungen bei täglich mehrstündigen Tunnelarbeiten	152
8.10 ZH-L16-Modifikationen für die praktische Anwendung	156
Aktueller Wissensstand	159
9 Dekompressionstabellen	161
9.1 Entwicklung der Tabellen seit Haldane 1908	162
9.2 Regeln für die Berechnung der Tabellen ZH-86	164
9.3 Vergleich von Dekompressionsprofilen der Tabellen ZH-86 mit simulierten Tauchgängen ..	166
9.4 Wiederholte Tauchgänge	168
9.5 Fliegen nach dem Tauchen	171
Aktueller Wissensstand	173

10 Das adaptive Rechenmodell ZH-L8 ADT (E. Völlm) 179

10.1	Adaptationen des Kreislaufs und deren Berücksichtigung im Rechenmodell	181
10.1.1	Der Einfluss der Arbeit	181
10.1.2	Der Einfluss des kalten Wassers	182
10.2	Mikrogasblasenbildung und deren Berücksichtigung im Rechenmodell	182
10.2.1	Mikrogasblasen im venösen Kreislauf	184
10.2.2	Mikrogasblasen im arteriellen Kreislauf und in den Geweben	186
10.2.3	Übertritt von Gasblasen aus dem venösen ins arterielle Blut	187
10.2.4	Möglichkeiten zur Reduktion der Blasen im venösen Blut	188
10.3	Praktische Auswirkungen des Rechenmodells ZH-L8 ADT beim Tauchen	190
10.4	Die Möglichkeiten des adaptiven Rechenmodells	191

11 Dekompressionscomputer (E. Völlm) 193

11.1	Vorteile und Gefahren	194
11.2	Struktur eines Tauchcomputers	196
11.3	Hardware	197
11.3.1	Was ist Hardware?	197
11.3.2	Anforderungen an die Hardware	197
11.4	Software	204
11.4.1	Was ist Software?	204
11.4.2	Das Modell – der Kern der Software	205
11.5	Berechnungsschritte des Tauchcomputers	208
11.5.1	Inertgasdruck im Gewebe	208
11.5.2	Tolerierte Tauchtiefe und tolerierter Inertgasdruck .	209
11.5.3	Nullzeit	211
11.5.4	Dekompressionsstufen	213
11.5.5	Gesamte Auftauchzeit	214
11.5.6	Entsättigungszeit	215
11.5.7	Tauchen in der Höhe und Fliegen nach dem Tauchen	216

11.6	Sicherheit	218
11.6.1	Genauigkeit, Rundungen	218
11.6.2	Tiefen- und Zeitzuschläge	218
11.6.3	Halbwertszeiten und Übersättigungstoleranzen	219
11.6.4	Höhenklassen	219
11.6.5	Einsatzgrenzen	219
11.6.6	Warnanzeigen	220
11.6.7	Bestimmung des Luftdrucks	220
11.6.8	Persönlicher oder austauschbarer Tauchcomputer? . .	221
11.7	Ein Blick in die Zukunft	222
12	Individuelle Dekompression	223
Anhang:	Luftdekompressionstabellen für 0–700 m ü. NN, 701–2500 m ü. NN und 2501–4500 m ü. NN sowie Tabelle für die Zeitzuschläge bei Wiederholungstauchgängen	225
	Nullzeiten bei Atmung von 50% O ₂ und 50% N ₂ („Nitrox“) für 0–700 m ü. NN	236
Wichtige Internetadressen	237	
Literatur	241	
Sachverzeichnis	245	