

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung: Tauchmedizinische Forschung in der Schweiz</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Abnorme atmosphärische Bedingungen</b>	<b>11</b>
2.1	Höhe, Hypoxie	12
2.2	Hyperoxie und hyperbarer O <sub>2</sub>	15
2.3	Atemwegswiderstände bei Überdruck	16
2.4	Atmung und Kreislauf beim Tauchen, Zentralisation, Lungenödem	18
2.5	Tiefenrausch, N <sub>2</sub> -Narkose	19
2.6	High pressure nervous syndrome (HPNS)	20
2.7	Hypothermie und Hyperthermie	24
	Aktueller Wissensstand	27
<b>3</b>	<b>Zwischenfälle beim Tauchen</b>	<b>29</b>
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 Auftauchens	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
<b>4</b>	<b>Behandlung des verunglückten Tauchers . . . . .</b>	<b>65</b>
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 <sub>2</sub> -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
<b>5</b>	<b>Inertgasaufnahme und -abgabe des menschlichen Körpers . . . . .</b>	<b>85</b>
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 <sub>2</sub> 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
<b>6</b>	<b>Symptomlos tolerierter Inertgasüberdruck im Gewebe . . . . .</b>	<b>111</b>
6.1	Klinische Erfahrung und Experimente . . . . .	112
6.2	Tolerierter Inertgasüberdruck bei einem Umgebungsdruck von 1,0 bar . . . . .	113
6.3	Tolerierter p <sub>t</sub> .N <sub>2</sub> und p <sub>t</sub> .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
<b>7</b>	<b>Das Rechenmodell ZH-L16A . . . . .</b>	<b>127</b>
7.1	Empirische Grenzen für den tolerierten Inertgasüberdruck . . . . .	128
7.2	Mathematische Ableitung des tolerierten N <sub>2</sub> -Überdrucks von den N <sub>2</sub> -Halbwertszeiten . . . . .	129
7.3	Toleranzgrenzen für Helium . . . . .	131

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>8 Theoretische Toleranzgrenzen und experimentelle Ergebnisse</b>	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
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
<b>9 Dekompressionstabellen</b>	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

<b>10 Das adaptive Rechenmodell ZH-L8 ADT (E. Völlm) . . . . .</b>	<b>179</b>
<b>10.1 Adaptationen des Kreislaufs</b>	
<b>und deren Berücksichtigung im Rechenmodell . . . . .</b>	<b>181</b>
<b>10.1.1 Der Einfluss der Arbeit . . . . .</b>	<b>181</b>
<b>10.1.2 Der Einfluss des kalten Wassers . . . . .</b>	<b>182</b>
<b>10.2 Mikrogasblasenbildung und deren Berücksichtigung</b>	
<b>im Rechenmodell . . . . .</b>	<b>182</b>
<b>10.2.1 Mikrogasblasen im venösen Kreislauf . . . . .</b>	<b>184</b>
<b>10.2.2 Mikrogasblasen im arteriellen Kreislauf</b>	
<b>und in den Geweben . . . . .</b>	<b>186</b>
<b>10.2.3 Übertritt von Gasblasen aus dem venösen</b>	
<b>ins arterielle Blut . . . . .</b>	<b>187</b>
<b>10.2.4 Möglichkeiten zur Reduktion der Blasen</b>	
<b>im venösen Blut . . . . .</b>	<b>188</b>
<b>10.3 Praktische Auswirkungen des Rechenmodells</b>	
<b>ZH-L8 ADT beim Tauchen . . . . .</b>	<b>190</b>
<b>10.4 Die Möglichkeiten des adaptiven Rechenmodells . . .</b>	<b>191</b>
<b>11 Dekompressionscomputer (E. Völlm) . . . . .</b>	<b>193</b>
<b>11.1 Vorteile und Gefahren . . . . .</b>	<b>194</b>
<b>11.2 Struktur eines Tauchcomputers . . . . .</b>	<b>196</b>
<b>11.3 Hardware . . . . .</b>	<b>197</b>
<b>11.3.1 Was ist Hardware? . . . . .</b>	<b>197</b>
<b>11.3.2 Anforderungen an die Hardware . . . . .</b>	<b>197</b>
<b>11.4 Software . . . . .</b>	<b>204</b>
<b>11.4.1 Was ist Software? . . . . .</b>	<b>204</b>
<b>11.4.2 Das Modell – der Kern der Software . . . . .</b>	<b>205</b>
<b>11.5 Berechnungsschritte des Tauchcomputers . . . . .</b>	<b>208</b>
<b>11.5.1 Inertgasdruck im Gewebe . . . . .</b>	<b>208</b>
<b>11.5.2 Tolerierte Tauchtiefe und tolerierter Inertgasdruck .</b>	<b>209</b>
<b>11.5.3 Nullzeit . . . . .</b>	<b>211</b>
<b>11.5.4 Dekompressionsstufen . . . . .</b>	<b>213</b>
<b>11.5.5 Gesamte Auftauchzeit . . . . .</b>	<b>214</b>
<b>11.5.6 Entättigungszeit . . . . .</b>	<b>215</b>
<b>11.5.7 Tauchen in der Höhe und Fliegen nach dem Tauchen</b>	<b>216</b>

---

## Inhaltsverzeichnis

11.6 Sicherheit . . . . .	218
11.61 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
<b>12 Individuelle Dekompression . . . . .</b>	<b>223</b>
<b>Anhang:</b> 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 <sub>2</sub> und 50% N <sub>2</sub> („Nitrox“) für 0–700 m ü. NN . . . . .	236
<b>Wichtige Internetadressen . . . . .</b>	<b>237</b>
<b>Literatur . . . . .</b>	<b>241</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>245</b>