

Was kann man sich unter Höhenbereich vorstellen?

1. „0-700 m Tabelle“:

Der Begriff ist sehr weit gesteckt und es gibt verschiedene Bedingungen, unter welchen dieser Höhenbereich gelten kann. Man sollte sich grundsätzlich 3 Möglichkeiten mit steigenden Anforderungen vorstellen:

Höhe des Wohnortes (Gewebeanpassung)	Höhe des Tauchplatzes
0 m	0 m
700 m	700 m
0 m	700 m

Die Gewebe des menschlichen Körpers passen sich an den Umgebungsdruck an. Nach etwa 3 Tagen kann man annehmen, dass auch das langsamste Gewebe den Umgebungsdruck in der Höhe des Wohnortes angenommen hat.

Prof. Bühlmann hat an der Universität Zürich experimentell nachgewiesen, dass ein linearer Zusammenhang zwischen dem höchstzulässigen Gewebedruck und dem Umgebungsdruck (Druck der Atemluft) besteht. Aus diesem Zusammenhang hat er seine Gewebegleichung und die ZH-L12-Gewebekoeffizienten abgeleitet.

Wenn ein Taucher in 0 m wohnt und in 700 m Höhe tauchen will, muss er auf eine Reihe von grundlegenden Zusammenhängen achten:

- In vergrößerter Seehöhe dürfen die Gewebe (entsprechend der Gewebegleichung) weniger weit aufgeladen werden als am Meer, denn sie können bei dem verminderten Luftdruck nicht mehr so viel Inertgas in Lösung halten. Je langsamer ein Gewebe, desto weniger weit darf es aufgeladen werden. Die Nullzeiten (zulässige Ladezeiten der Gewebe) nehmen ab.
- Beim Aufstieg zum Bergsee nehmen mittlere und langsame Gewebe ihre Gewebedrücke mit, weil sie sich während des relativ kurzen Aufstiegs nicht entladen können. Daher sind die Gewebedrücke zu Beginn des Tauchgangs größer als der Umgebungsdruck (Luftdruck am Bergsee). Die Nullzeiten werden somit noch kürzer.
- Wenn der Aufstieg zum Bergsee relativ kurz war, erreichen beim Tauchen die Drücke langsamer Gewebe Werte, wie bei einem Tauchgang in vergrößerte Tiefe.

Je höher der Bergsee, desto größer wird der Einfluss langsamer Gewebe, so dass die Dekompression in größerer Tiefe beginnen muss und die Dekompressionszeiten in geringen Dekotiefen zunehmen.

2. Bühlmantabellen:

Wenn man Tabellenwerte vergleichen will, muss man den Geltungsbereich kennen, für den die Tabelle berechnet worden ist. Bühlmantabellen sind auf die Verhältnisse der Schweiz zugeschnitten. Als Anfangsbedingung gilt Gewebesättigung in 700 m Seehöhe und im Anschluss an die „Grundzeit“ wurde, entsprechend den damaligen Kenntnissen über den Einfluss des Aufstiegs, eine gleichförmige Aufstiegs geschwindigkeit von 10 m pro min in Rechnung gesetzt.

Da die Tabelle auch für Meeresniveau verwendet werden kann, wurde sie als 0 – 700 m Tabelle bezeichnet. **Diese Bezeichnung ist jedoch irreführend, weil die Tabelle nur für angepasste Gewebe gilt und somit nicht verwendet werden darf, wenn der Tauchplatz höher liegt als der Wohnort.**

Da das ZH-L12-System umfassend veröffentlicht wurde, ist das Zustandekommen der Bühlmantabellen auch nachvollziehbar. Es ist somit möglich, den Einfluss verschiedener Größen zu untersuchen, welche die Dekompression verändern.

Neben dem Tiefenmesserfehler oder dem Druck des gesättigten Wasserdampfs gibt es noch eine Reihe von Einflüssen, welche die Dekozeiten verändern. Die größten Änderungen ergeben sich, wenn Bergseehöhe oder Sauerstoffanteil des Atemgemischs zunehmen. Die beiden Veränderungen sind gegenläufig und heben sich daher gegenseitig auf. Somit kann die **Bergseehöhe mit Nitrox kompensiert werden** und man kann mit einer Meerestabelle austauschen.

Im Buch „Bergseetauchen“ sind Geltungsbereich und Quellcode meines „Bergsee-Wiederholungsprogramms“ angegeben. Jeder Rechenschritt des Basic-Programms wird erklärt, so dass das Programm für viele Leser zugänglich sein sollte. Das Programm liefert sehr genau die Dekovorschriften der Bühlmann-Bergseetabelle 701 – 2500 m. Wenn man die Dekoschrittweite und den angenommenen Tiefenfehler erhöht, ergeben sich die Vorschriften der 0 – 700 m Tabelle.

Da man aus der Gewebegleichung den linearen Zusammenhang von höchstzulässigem Gewebedruck und Luftdruck ablesen kann, habe ich schon vor 10 Jahren untersucht, unter welchen Bedingungen eine „äquivalente Bergseetiefe“ angenommen werden kann. Es hat sich herausgestellt, dass man den Geltungsbereich so legen kann, dass für 1000 m Seehöhe die gemessene Tauchtiefe um einen Zuschlag von 10 % vergrößert werden muss.

Diese „Zuschlagsmethode“ von 10 % pro 1000 Höhenmeter berücksichtigt den Aufstieg zum Bergsee für nicht angepasste Gewebe.

Die Programmiersprache Basic ist so einfach, dass man mit geringsten Kenntnissen und ein bisschen Hilfe ein Basic-Programm schreiben kann. Voraussetzung ist, dass man genau weiß, was man berechnen will.

3.1. Gewebeanpassung in 0 m (Tauchgang 30 m / 30 min):

Nitrox		?		
Anfangshöhe in m		? 0		Anfangshöhe = Meeresniveau
Höhe Bergsee in m (quit)?		? 0		Bergseehöhe = Meeresniveau

Nitrox 21	0 m, 0 m,		10 m/min	
Oberflächenpause in min	?			
Tauchtiefe in m		? 30		
Tauchzeit in min		? 30		

12.5			.06 min...	C 2.67 bar
	DEKO 6 m / 1 min			
12.5			3.61 min...	C 2.57 bar
18.5			5.38 min...	D 2.34 bar
27			6.31 min...	E 2.07 bar
38.3			4.38 min...	F 1.81 bar
	DEKO 3 m / 7 min			
(quit)? q				

Halbwertszeit	Minstdekozeit	Gewebecode	Gewebedruck
---------------	---------------	------------	-------------

Tauchgang auf Meeresniveau:

Das Gewebe E mit T = 27 min erfordert die längste Dekozeit (6.31 min) in 3 m Tiefe und ist daher das Leitgewebe. Als Wiederholungsgruppe wird jedoch das Gewebe F gewählt, weil seine Mindestdekozeit bereits mehr als 50 % des Gewebes E ausmacht.

Die Dekovorschrift lautet somit: **1 + 7 F = 8 min**

3.2. Gewebeanpassung in 700 m (Tauchgang 30 m / 30 min):

Nitrox		?		
Anfangshöhe in m		? 700		Anpassung in 700m Höhe
Höhe Bergsee in m (quit)?		? 700		

Nitrox 21	700 m, 700 m,		10 m/min	
Oberflächenpause in min	?			
Tauchtiefe in m		? 30		
Tauchzeit in min		? 30		

12.5			.57 min...	C 2.6 bar
	DEKO 6 m / 1 min			
8			.05 min...	B 2.61 bar
12.5			4.18 min...	C 2.5 bar
18.5			6.28 min...	D 2.28 bar
27			7.82 min...	E 2 bar
38.3			6.88 min...	F 1.74 bar
	DEKO 3 m / 8 min			
(quit)? q				

Die Dekozeiten der beiden langsamsten Gewebe sind schon fast gleich lang.

Für einen Tauchgang in 700 m Höhe wird die Dekovorschrift 1 min länger: **1 + 8 F = 9 min**

Die Dekovorschrift entspricht sehr genau der Bühlmanntabelle 0 – 700 m.

3.3. Gewebeanpassung in 0 m → Aufstieg auf 700 m:

Nitrox		?			
Anfangshöhe in m		?	0		
Höhe Bergsee in m		?	700		
(quit)?					
Nitrox 21 0 m, 700 m, 40 min, 10 m/min					
Oberflächenpause in min		?			
Tauchtiefe in m		?	30		
Tauchzeit in min		?	30		

12.5			.59 min...	C	2.61 bar
	DEKO	6 m / 1 min			
8			.05 min...	B	2.61 bar
12.5			4.19 min...	C	2.5 bar
18.5			6.37 min...	D	2.28 bar
27			8.2 min...	E	2.01 bar
38.3			8.12 min...	F	1.76 bar
54.3			.61 min...	G	1.53 bar
	DEKO	3 m / 9 min			
(quit)?	q				

Jetzt muss schon das 54.3 min Gewebe G dekomprimiert werden. Seine Dekozeit ist noch sehr gering und wird daher zur Bestimmung der Wiederholungsgruppe nicht herangezogen.

Wenn der Aufstieg zur Tauchplatzhöhe berücksichtigt werden muss und eine Wartezeit von 40 min eingehalten werden kann, verlängert sich die Dekozeit bereits um 2 min auf 1 + 9 F = 10 min. Das sind immerhin 25 % !!

3.4. „0 m Tabelle“ mit 7 % Tiefenzuschlag:

In der Arbeit „Bergseetauchen“ habe ich die „Methode des Tiefenzuschlages“ für Tauchgänge am Bergsee abgeleitet. **1000 m Seehöhe** werden durch einen Tiefenzuschlag von **10 % zur Tauchtiefe** berücksichtigt. (Geltungsbereich beachten!)

Nitrox		?	21		
Anfangshöhe in m		?	0		
Höhe Bergsee in m		?	0		
(quit)?					
Nitrox 21 0 m, 0 m, 40 min, 10 m/min					
Oberflächenpause in min		?			
Tauchtiefe in m		?	32.1		
Tauchzeit in min		?	30		

12.5			1.56 min...	C	2.79 bar
18.5			.86 min...	D	2.51 bar
	DEKO	6 m / 2 min			
12.5			4.04 min...	C	2.61 bar
18.5			6.56 min...	D	2.4 bar
27			8.65 min...	E	2.13 bar
38.3			8.44 min...	F	1.87 bar
	DEKO	3 m / 9 min			
(quit)?	q				

Ein Tiefenzuschlag von 7 % für 700 m ergibt eine Dekovorschrift von **2 + 9 F = 11 min**

4. Gegenüberstellung:

Tauchgang 30 m / 30 min:

	Höhe des Wohnortes (Gewebeanpassung)	Höhe des Tauchplatzes	Dekompression Berechnung	Bühlmann 0 – 700 m
1)	0 m	0 m	$1 + 7 F = 8 \text{ min}$	
2)	700 m	700 m	$1 + 8 F = 9 \text{ min}$	
	700 m	700 m		$2 + 7 F = 9 \text{ min}$
3)	0 m	700 m	$1 + 9 F = 10 \text{ min}$	
4)	0 m	7 % Tiefenzuschlag	$2 + 9 F = 11 \text{ min}$	

Die berechnete Dekompression für Gewebeanpassung in 700 m Höhe ist gleich lang, wie jene der Bühlmantabelle ($1 + 8 = 9 \text{ min}$).

Für Meeresniveau sind nur $1 + 7 = 8 \text{ min}$ erforderlich, während der Aufstieg von 0 auf 700 m die Verlängerung der Dekozeit um 1 min auf $1 + 9 = 10 \text{ min}$ erfordert.

Die 0-700 m Tabelle darf daher nicht angewendet werden, wenn der Tauchplatz höher liegt als der Wohnort.

Wenn daher der Tauchplatz höher als der Wohnort liegt und keine Tabelle für die passende Seehöhe vorliegt, könnte nach der „Methode des Tiefenzuschlages“ mit einer Meerestabelle (z.B. Nitrox21-Tabelle „Planungstabelle für den Tauchunterricht“) sicher ausgetaucht werden. Die Dekovorschrift ist jedoch um 1 min länger ($2 + 9 = 11 \text{ min}$) als notwendig.

Die Dekovorschriften, welche mit der „Zuschlagsmethode“ ermittelt werden sind geringfügig länger als notwendig. Sie berücksichtigen dafür (zum Unterschied von anderen Tabellen) den Aufstieg zum Tauchplatz.

5. „0 - 700 m Tabelle“ von Bühlmann:

Die Bühlmantabelle 0-700 m wurde für Gewebeanpassung in 700 m Seehöhe berechnet. Für einen Tauchgang von 30 m / 30 min wird eine Dekozeit von $2 + 7 F = 9 \text{ min}$ vorgeschrieben. Die Berechnung ergibt $1 + 8 F = 9 \text{ min}$ und damit **übereinstimmende Werte**.

Die Bergseetabelle erfordert bereits $1 + 4 + 11 G = 16 \text{ min}$. Man erkennt beinahe eine Verdopplung der Dekozeit, weil der Aufstieg zum Bergsee von 701 auf 2500 m innerhalb einer Stunde einen überaus großen Einfluss hat.

6. „0 - 700 m Tabelle“ von Hahn:

Die Tabelle für 0 - 700 m Seehöhe von Hahn fordert für 30 m / 30 min eine Dekozeit von $3 + 10 F = 13$ min. Die Dekozeit wurde damit **gegenüber Bühlmann um 44 % verlängert**.

Während Bühlmann nur einen Nullzeit-Sicherheitshalt von 1 min „zur Orientierung“ angibt, schreibt Hahn einen „obligatorischen“ Sicherheitsstopp von 3 m / 3 min vor, der die **Gesamtdekozeit um insgesamt 78 % auf 16 min verlängert**.

Vergleicht man nun die Dekozeit für einen Tauchgang von 18 m / 80 min, **so verkürzt die Hahntabelle die Dekovorschrift von 18 G um 2 min auf 16 G**. Es gibt offensichtlich Bereiche, in denen die Dekozeit gegenüber Bühlmanntabellen verlängert wird und andere, wo sie verkürzt wird. Inzwischen gibt es Hahntabellen mit abgeänderten Tauchzeiten (DECO2000), so dass ein direkter Vergleich mit Bühlmanntabellen nicht mehr durchführbar ist.

Das Rechenprogramm ermöglicht jedoch beliebige Vergleiche, weil es dem ZH-L12-System von Bühlmann entspricht.

Während die Dekozeiten der Hahntabelle gegenüber Bühlmann überwiegend verlängert werden, sind die Zeitzuschläge (besonders bei kurzen Oberflächenpausen) auffallend stark verringert, **wodurch sich für Wiederholungstauchgänge eine bedeutende Verkürzung der Dekozeiten ergibt!**

Vorsicht !

Wiederholungstauchgänge nach der Zuschlagsmethode dürfen daher

NUR MIT BÜHLMANNTABELLEN

geplant werden, weil das System der Zeitzuschläge mit der Veränderung des Gewebecodes während der Oberflächenpause übereinstimmen muss!

Während die Hahntabelle für die Wiederholungsgruppe F in einer Tiefe von 30 m einen Zeitzuschlag von 20 min verlangt, **fordert Bühlmann einen 50 % längeren Zuschlag** von 30 min.

Der gegenläufige Unterschied in den Dekovorschriften – verlängerte Dekozeiten – extrem verkürzte Zeitzuschläge gegenüber Bühlmanntabellen – kann nicht nachvollzogen werden.

(Die Zuschläge der Wiederholungstabellen können mit dem Programm überprüft werden!)

7. Empfehlungen:

Im Zeitalter des Computers erscheint „non-limit-Tauchen“ mit Tabellen nicht sehr sinnvoll. Es ist auch **durch das System der Wiederholungsgruppen nicht durchführbar!** Denkt man an die Verwendung unterschiedlicher Nitroxgemische, so wird die Arbeit mit Tabellen immer mühseliger. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich bei der Planung gravierende Rechenfehler einschleichen wird immer größer. Tabellen, welche Berechnungen erfordern, die über einfaches Kopfrechnen hinausgehen, erhöhen nicht die Sicherheit, sondern nur den Lernaufwand. Die Planung muss übersichtlich und kurz sein, sonst wird sie in der Praxis nicht durchgeführt.

Tabellen müssen „nitroxtauglich“ & „bergseetauglich“ sein. Wenn sie mit dem ZH-L12-System von Bühlmann übereinstimmen, haben sie den „Vorteil der Nachvollziehbarkeit“.

Sobald Nitrox am Bergsee verwendet werden soll, stößt die Planung mit den „herkömmlichen Tabellen“ auf unlösbare Schwierigkeiten. Die Planung von Bergseetauchgängen über verschiedene Höhenbereiche ist auch mit neuesten Tauchcomputern noch nicht möglich.

Da die Tauchgangsplanung ein unbestrittenes „Sicherheitsinstrument“ darstellt, ist somit eine verbesserte Tauchtabelle erforderlich, mit der die Verwendung von Nitrox und alle Höhenbereiche abgedeckt werden können.

Da sich die Höhenbereiche käuflicher Tabellen nicht überschneiden gibt es Umstände, dass für einen „Einsatztaucher“ am Bergsee keine passenden Tabellen vorliegen und er gezwungen wird, eine lange Wartezeit (12 oder 24 Std) zur Anpassung seiner Gewebe in Kauf zu nehmen.

- Anstatt des „obligatorischen Sicherheitsstops“ am Ende der Dekompression **empfiehlt DAN einen „extra tiefen Sicherheitsstop“ vor dem Beginn der Stufendekompression.**
- Anstatt der „Grundzeit“ sollte wieder die „Tauchzeit“ vom Abstieg bis zum Erreichen des „extra tiefen Sicherheitsstops“ eingeführt werden, weil während dieser Zeit die stärkste Aufsättigung der Mehrzahl aller Gewebe erfolgt und der Zwang zur Einhaltung einer Mindestgeschwindigkeit während des Aufstiegs entfällt.
- **DAN warnt eindringlich vor der Vermischung von Tabellensystemen.** Wenn daher in Höhen über 1500 m nur die Bühlmantabelle gilt, weil es kein anderes gültiges Tabellensystem gibt, sollte das Bühlmannsystem auch für geringere Höhenbereiche gelten.
- Das **ZH-L12-System von Bühlmann** ist das einzige transparente System, welches ermöglicht, Tabellenwerte und einen Aufstieg innerhalb des Höhenbereichs sehr genau nachzuvollziehen.
- Das ZH-L12-Tabellenwerk muss ergänzt werden, damit eine Planung von Tauchgängen über beide Höhenbereiche möglich wird (Wohnort unter 700 m, Tauchplatz über 700 m).
- Als Planungstabelle erscheint eine „transparente“ Tabelle für Meeresniveau mit definiertem Geltungsbereich zweckmäßig, mit der die Dekompression für abweichende Höhenbereiche nach der „Methode des Tiefenzuschlages“ geplant werden kann (Tabelle Nitrox21).
- Die Planungstabelle muss für beliebige Nitroxmischungen verwendbar sein (NITROXPLANER).