

Ein sehr kurzer Überblick über **GRADIENTEN FAKTOR**

Zum Verständnis von Dekompression und Einstellungen an Tauchcomputer wie z.B. dem Shearwater Pursuit ist in jedem Falle die Theorie der Gradienten Faktoren, M-Werte, Inertgasdruck verschiedener Gewebe, Tiefenstops und ähnliche Begriffe des technischen Tauchens unerlässlich.

Es finden sich im World Wide Web zahlreiche hervorragende Artikel zu diesen Themen, sowohl in englischer als auch vereinzelt in deutscher Sprache. Suchwörter in Google wie „M-Value“, „M-Wert“, „Gradient Factor“, „Deep Stop“ liefern zahlreiche Artikel zu diesem Thema. Insbesondere die Artikel von Erik C. Baker sind sehr ausführlich und leicht verständlich geschrieben. Im original sind sie in englischer Sprache, es finden sich aber sehr einfach deutsche Übersetzungen.

Die hier vorliegende kurze Erläuterung ist auf keinen fall ein Ersatz für das Studium weiterführender Literatur und Veröffentlichungen. Sie ist lediglich als möglichst einfach gehaltene Erklärung zu den so genannten Gradienten Faktoren gedacht. Sie soll zum Verständnis der möglichen Einstellungen der GF Werte an Tauchcomputern, wie dem Shearwater Pursuit dienen.

In jedem Falle komplett und bis zum Ende lesen!

Empfohlene Literatur

- Baker EC. 1998. Understanding Mvalues. Immersed. Vol. 3, No. 3.
- Baker, Erik C.: *Clearing up the Confusion about Deep Stops*, in Immersed – International Technical Diving Magazine, Vol. 3, No. 4 – Winter 1998
- Bühlmann, AA. 1995. Tauchmedizin. Berlin: Springer-Verlag.
- Pyle, Richard L.: *The Importance of Deep Safety Stops: Rethinking Ascent Patterns From Decompression Dives*, in Cave Diving Group Newsletter, 121: 2-5.
- Hillen, Benjamin: *Tiefen-Stopps*, in Divemaster 2/2002, Nr. 38



Mit freundlicher Genehmigung ein Bild von: Dr. Ulrich Koop

Gradientenfaktoren

Dieser Begriff tritt immer wieder im Zusammenhang mit heutigen leistungsfähigen und von Anwender einstellbaren Tauchcomputer, wie auch dem Shearwater Pursuit auf.

Grundlage ist das aktuelle Dekompressionsmodell von Bühlmann mit 16 verschiedenen theoretischen Geweben die während der Kompressions- und Isopressionsphase Inertgas aufsättigen und in der Dekompressionsphase diesen „Überdruck“ wieder abbauen (müssen).

Die grosse Schwierigkeit besteht nun in der Frage, wie schnell darf das Inertgas während der Auftauchphase (die Dekompressionsphase), in der nun der Umgebungsdruck reduziert wird, ausgasen ohne zu Dekompressionsproblemen/Unfällen zu führen.

Workman und auch Bühlmann definieren nun so genannte M-Werte als lineare Funktion zwischen dem Umgebungsdruck und dem Inertgasdruck innerhalb des Gewebes. Die Basis beider ist identisch. Während die Arbeiten von Workman sich nur auf Meereshöhe beziehen sind die Werte von Bühlmann auch in grösserer Höhe einsetzbar. Daher werden diese heute in vielen Tauchcomputern genutzt.

(Für ein tieferes Verständnis sei an diese Stelle auf weiterführenden Literatur verwiesen)

Der M-Wert ist also als maximal zulässiger Überdruckwert zu verstehen. Wird er überschritten ist ein Dekompressionsunfall fast automatisch vorprogrammiert.

Der M-Wert ist ein Überdruckwert für ein Inertgas. Insbesondere beim technischen Tauchen werden aber mehr Inertgase geatmet (N₂ und He). Es gibt unterschiedliche Ansätze wie man nun für zwei Inertgase den M-Wert festlegt/berechnet. Im Bühlmannmodell wird eine Art „Mittelwert“ der einzelnen M-Werte von N₂ und He benutzt. Ausführliche Information zu diesem Thema finden sich in dem Artikel „Understanding M-Values“ von Eric C. Baker.

Es sei hier nur kurz erwähnt, dass es auch zwei „Arten“ von M-Werten gibt, also zwei verschiedenen M-Werte für ein Gas und jeweils ein Gewebe. Im Bereich des „normalen“ Sporttauchens, also Nullzeittauchen oder Dekompressionsfreiem Tauchen werden andere Werte genutzt als beim technischen, dekompensationspflichtigen Tauchen.

M-Werte für eine gegebene Tiefe und ein gegebenes theoretisches Gewebe sind immer höher als der Umgebungsdruck, daher kann der M-Wert nicht erreicht werden solange das theoretische Gewebe auch Umgebungsdruck hat.

Bezogen auf die Auftauchphase bedeutet das nun, dass der Umgebungsdruck sinkt und Inertgas will/muss nun aus dem Gewebe austreten. Es wird nun so lange aufgetaucht (der Umgebungsdruck reduziert) bis der zulässige M-Wert erreicht wird. Es entsteht also eine Druckdifferenz zwischen dem Gas im Gewebe und dem Gas im Umgebungsdruck (dem Atemgas). Maximale Differenz ist ja bekannter Massen der M-Wert.

Nun kann das Gewebe ausgasen und den inneren Druck reduzieren auf nahe dem Umgebungsdruck. Ist das erreicht kann weiter aufgetaucht werden bis zum Erreichen

des nächsten M-Wertes. In dieser Weise kann nun langsam und kontrolliert ausgetaucht werden und die Gewebe können langsam und kontrolliert ausgasen.

Dies ist die Theorie, die sich mathematisch mit theoretischen Geweben und zig tausenden von Testtauchgängen ableiten lässt. Dekompressionsunfälle sind leider nicht ganz so einfach vorauszusehen und folgen definitiv nicht in einfacher Weise irgendwelchen M-Werten. Es sind eben „nur theoretische Gewebe“, die körperliche Verfassung (Fitness, Medikamente etc) eines speziellen Tauchers sind nicht berücksichtigt. Fest steht lediglich, dass die Anzahl der Dekompressionsunfälle drastisch steigt wenn die M-Werte überschritten werden und es sehr wenige Unfälle gibt wenn die M-Werte nicht erreicht, also unterschritten werden!

Man sollte also nicht bis an die Grenze der M-Werte austauchen.

Dazu dienen nun die so genannten Gradientenfaktoren, immer als GF abgekürzt, die sich wie folgt einfach berechnen lassen

$$GF = \frac{\text{Druck im Gewebe} - \text{Umgebungsdruck}}{\text{M-Wert} - \text{Umgebungsdruck}}$$

Es ist sofort ersichtlich, dass ein $GF = 1$ bedeutet man befindet sich exakt am M-Wert. Während der $GF = 0$ aussagt dass sich das theoretische Gewebe auf Umgebungsdruck befindet.

Es ist also verständlich dass der GF Wert nicht 1, sondern darunter liegen sollte.



Betrachtet man nun den $GF = 0,8$ als Beispiel, da dieser Wert oft als Standard Wert in Tauchcomputer (so auch dem Shearwater Pursuit) voreingestellt ist. Diese Einstellung besagt nun, dass während der Auftauchphase der Inertgasdruck des theoretischen Gewebes nicht über 80% der Differenz zwischen Umgebungsdruck und dem M-Wert (der ja 100% , also maximal zulässig darstellt) geht.

Tauchcomputer, wie der Shearwater Pursuit erlauben jedoch die Einstellung von zwei Werten für GF. Den so genannten „Low GF“ und den „High GF“.

Würde man „seinen Geweben“ direkt immer 80% erlauben wäre die Einstellung am Computer 80/80. In diesem Zahlendoppel ist links immer der Low GF und rechts der High GF.

Eine Theorie von Eric Baker besagt nun, das es besser ist zunächst zu niedrigeren GF Werten auf zu tauchen, um dann mit hohem GF Wert aufzutauchen (an die Oberfläche).

Als Beispiel diene die Werkseinstellung des Shearwater Pursuit Computers mit 30/80 (oder 30/85). Diese Einstellung bewirkt nun, dass man zunächst auftauchen darf bis das Gewebe 30% der Differenz des Umgebungsdrucks und dem M-Wert erreicht hat. Auf dieser Tiefe (also bei diesem Umgebungsdruck) wird nun ein erster Dekostop eingelegt, der solange dauert bis das Gewebe genug Inertgasüberdruck abgegeben hat und man weiter auftauchen kann zum nächsten Stop. Bis man letztlich mit einem GF Wert von 0,8 an der Oberfläche auftaucht.

Was passiert nun in der Zwischenzeit?

Wie lange muss der Taucher auf dem Stop warten bis das Gewebe genug Gas entsättigt hat und wie erreicht er den GF Wert von 0,8?



Betrachtet man den theoretischen Fall der Low GF=0,3 wird in einer Tiefe von 40 Metern erreicht. Damit ist der erste Punkt gesetzt. Der zweite ergibt sich von alleine, der High GF=0,8 an der Oberfläche, also bei 0 Metern.

In einfacher und leicht verständlicher Weise wird nun eine gerade (lineare Beziehung) zwischen diesen beiden Punkten gelegt. Exakt dies hat Eric C. Baker in seinen Ausführungen beschrieben und erklärt.

$$GF_{\max} = HGF + \frac{HGF - LGF}{HGF_{\text{Tiefe}} - LGF_{\text{Tiefe}}} * \text{Tiefe}_{\text{aktuell}}$$

HGF = High GF Wert

LGF = Low GF Wert

GF_{max} = maximaler GF Wert

Nun ist der Wert für HGF auf die Oberfläche bezogen, also ist der Wert $HGF_{Tiefe=0}$
 Eine Umstellung obiger einfacher Formel ergibt dann folgendes.

$$GF_{max} = HGF - \frac{HGF - LGF}{LGF_{Tiefe}} * Tiefe_{aktuell}$$

Im Beispiel ist der Low GF Wert bei 0,3 eingestellt worden (StandardEinstellung) und er wird bei z.B. 40 Metern Wassertiefe erreicht. Somit ist LGF_{Tiefe} 40m. Nun muss das Gewebe Inertgasüberdruck abgeben bevor man weiter auftauchen kann auf z.B. 35 Meter Wassertiefe. Das Gewebe muss soviel entgasen, dass der GF Wert (berechnet) von 0,36 nicht überschritten wird.

$$GF_{max} = 0,80 - \frac{0,80 - 0,30}{40} * 35$$

Nun muss auf dem 30 Meter Stop so lange gewartet werden, also dem Gewebe Zeit gegeben werden zu entgasen bis auf der nächsten Tiefe von 30 Metern der GF wert von 0,425 erreicht wird.

$$GF_{max} = 0,80 - \frac{0,80 - 0,30}{40} * 30$$

Diese lineare Berechnung lässt sich nun bis zur Oberfläche fortführen, dort erreicht man dann den GF_{max} von 0,8.

GF_{max}	25m = 0,4875
GF_{max}	20m = 0,55
GF_{max}	15m = 0,6125
GF_{max}	10m = 0,657
GF_{max}	6m = 0,725
GF_{max}	3m = 0,7625
GF_{max}	0m = 0,8 !!!

Diese (hoffentlich einfache) Erläuterung der GF Werte dient zum Verständnis der möglichen Einstellungen von modernen Tauchcomputern wie dem Shearwater Pursuit zum Beispiel.

Auf Grund dieser Erklärung sollte nun auch der Begriff der Tiefenstops, Einstellung von Tiefenstops deutlich geworden sein.

Im Beispiel wurde der LowGF Wert auf 0,3 gesetzt, der erste Stop war als notwendig als das Gewebe 30% der Differenz des M-Wertes um Umgebungsdruck hatte. Wird der LowGF nun auf 0,1 gesetzt wird der erste Stop bereits notwendig wenn das Gewebe nur 10% Differenz zwischen Umgebungsdruck und M-Wert erreicht. Einfach ausgedrückt, der erste Stop ist in größerer Tiefe durchzuführen. Die obige lineare Rechnung bleibt dieselbe und an der Oberfläche erreicht man wieder GF_{max} von 0,8. Es wurde lediglich tiefer mit Stops angefangen.



Selbige Überlegungen gelten natürlich für die Variation des HighGF Wertes auf 0,7 oder 0,9.

Hat man obige Erklärung verstanden ist die Theorie zur Einstellung des HighGF Wertes ebenso klar und einfach.

Standardeinstellungen der meisten (einstellbaren) High End Tauchcomputer ist die Kombination 30/80 mit plus minus 5 (also 25/75 bis 35/85). Diese Werte haben sich durch zahlreiche theoretische Berechnungen und unzählige praktische sichere Tauchgängen als adäquat für die Mehrheit der Taucher erweisen.

Beispiele für verschiedenen Einstellungen

35/70	Sehr konservative Einstellung für „empfindliche“ Leute
30/85	Standard Einstellung (Werkseinstellung)
25/85	Moderate Einstellung
15/90	Agressive Einstellung
10/100	Sehr aggressiv – direkt am Limit Bühlmann !

Es sei aber ausdrücklich nochmals betont, weder M-Werte, noch GF Werte noch sonstige Dekompressionstheorie oder sonstige Werte geben eine 100% Klarheit oder Aussage zu Dekompressionsunfällen und der Möglichkeit einen Dekompressionsunfall zu erleiden. Alles sind lediglich Hilfsmittel und Theorien das Tauchen sicherer zu machen.

Es ist in jedem Falle ratsam immer konservativ zu tauchen, respektive konservative Einstellungen an Hilfsmittel wie Tauchcomputern einzustellen.