

Dekoberechnung im OSTC

Wie berechnet der OSTC-Tauchcomputer die Nullzeit und die Deko-Stopps? Was sind Gradientenfaktoren (GF) und wie wirken sie sich auf meine Deko aus?



Copyright: heinrichs weikamp GmbH 2019

Text und Grafiken: Ralph Lembcke und Matthias Heinrichs

Fotos: Heinrich Mattensen

Titelfoto: Jerzy Kowalczyk, www.underwaterpixel.com

Nachdruck und Vervielfältigung nur mit schriftlicher Erlaubnis von heinrichs weikamp

www.heinrichsweikamp.com

Grundlagen der Dekompression

Was passiert beim Tauchen?

Beginnen wir mit einem einfachen Modell (Abbildung 1):

In einem großen Gefäß befindet sich ein zweites kleines Gefäß, das an seinem Boden eine kleine Öffnung hat. Wasser strömt vom großen Gefäß in das kleine Gefäß, weil an der Öffnung am Boden des kleinen Gefäßes der Druck des Wassers im großen Gefäß größer ist als der Druck der Wassersäule im kleinen Gefäß. Je größer der Druckunterschied ist, desto mehr Wasser wird pro Zeiteinheit durch die Öffnung gepresst. Der Füllstand im kleinen Gefäß wird über die Zeit aussehen wie in Abbildung 2.

Je mehr sich der Füllstand im kleinen Gefäß dem Füllstand im großen Gefäß angleicht, desto geringer ist der Druckunterschied und desto weniger Wasser strömt pro Zeiteinheit ein, bis schlussendlich Gleichstand erreicht ist.

Wird nun das kleine Gefäß angehoben, so entsteht wieder eine Druckdifferenz, diesmal jedoch in umgekehrter Richtung, da die Wassersäule im kleinen Gefäß nun höher ist als der Wasserstand im umgebenden großen Gefäß. In Folge fließt das Wasser aus dem kleinen Gefäß zurück in das große Gefäß, am Anfang, wenn der Druckunterschied noch groß ist, schnell und dann mit zunehmender Angleichung immer langsamer. Also genau wie im vorigen Fall, nur umgekehrt (Abbildung 3).

Was hat das nun mit dem Tauchen zu tun?

Das große Gefäß ist unser Tauchgewässer. Das kleine Gefäß ist unser Körper. Das Gas, das wir aus unserem Lungenautomaten atmen, hat den gleichen Druck wie das uns umgebende Wasser. Unser Kör-

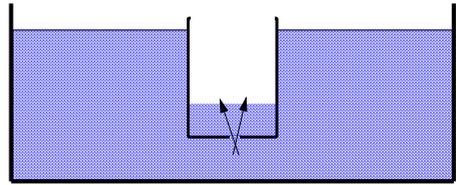


Abbildung 1

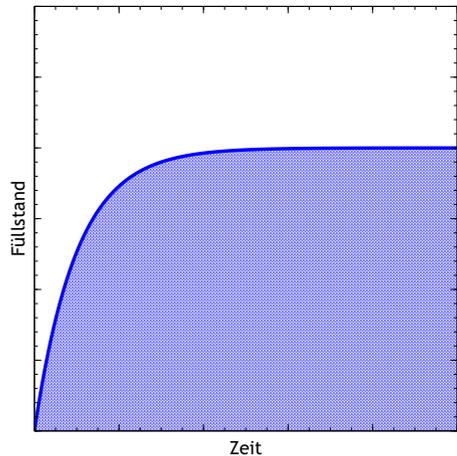


Abbildung 2

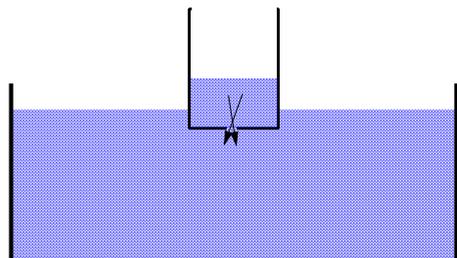


Abbildung 3

per besteht zu großen Teilen aus Flüssigkeit, so wie das kleine Gefäß im obigen Modell. So wie hier Wasser durch die Öffnung in das kleine Gefäß hinein- und wieder hinausströmt, so strömt das Gas, das wir beim Tauchen atmen in unsere Lungen, tritt dort in die Blutbahn über und wird in den Geweben unseres ganzen Körpers verteilt.

Solange der Druck des uns umgebenden Wassers und somit der Druck des Gases in unserer Lunge größer ist als der Druck in den Geweben unseres Körpers, strömt das Gas – in unserem Blut gelöst – in unsere Körpergewebe ein. Der Druck in unseren Körpergeweben steigt, anfangs schnell, dann zunehmend langsamer, bis irgendwann der Gleichstand erreicht ist.

Tauchen wir nun auf, so verringert sich der Druck des uns umgebenden Wassers. In dem Moment, wo er kleiner wird als der Druck in unseren Körpergeweben, kehrt sich die Transportrichtung der gelösten Gase um. Sie werden nun vom Blutkreislauf zurück in die Lungen transportiert, gehen dort wieder in den gasförmigen Zustand über und wir atmen sie aus.

Leider ist unser Körper nicht unendlich druckfest: Ist der Druck in den Geweben unseres Körpers zu groß im Vergleich zu dem äußeren Wasserdruck, der unseren Körper sozusagen „zusammenhält“, so kann sich das in unseren Körpergeweben gespeicherte Gas nicht mehr in Lösung halten und beginnt an Ort und Stelle Gasblasen zu bilden. Daraus kann dann ein Dekompressionsunfall entstehen (Abbildung 4).

Dekompressionsunfall

Um einen solchen Dekompressionsunfall zu vermeiden, müssen wir darauf achten, dass der Druckunterschied zwischen dem Druck in unseren Körpergeweben und dem

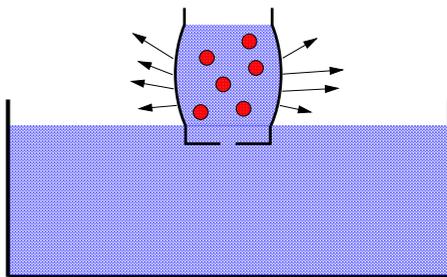


Abbildung 4

Druck des uns umgebenden Wassers nicht zu groß wird. Wie groß dieser Druckunterschied konkret werden darf, wird seit über 100 Jahren untersucht und es wurden im Laufe der Zeit verschiedene Modelle dazu aufgestellt.

Diese Modelle sind letztlich Rechenformeln, mit denen man bestimmen kann, wie viel Druck sich in den Körpergeweben je nach Tauchtiefe und Grundzeit aufbaut und bis wann man gerade noch an die Wasseroberfläche zurückkehren kann, ohne dass der Druckunterschied zu groß wird. Das nennt man die „Nullzeit“.

Bleibt man länger als diese Nullzeit auf Tiefe, dann kann man anhand der Modelle berechnen, auf welcher Tiefe man seinen Aufstieg anhalten muss, weil sonst der Druckunterschied zu groß werden würde. Während dieses Stopps, der auch „Dekompressions-Stopp“ oder kurz „Deko-Stopp“ genannt wird, wird laufend das in den Geweben gelöste Gas über die Blutbahn, die Lunge und unser Ausatmen aus unserem Körper entfernt. Nach einiger Zeit ist dann so viel Gas entfernt und somit der Druck in den Geweben weniger geworden, dass der Aufstieg fortgesetzt werden kann – zur Wasseroberfläche oder zu einem nächsten Deko-Stopp auf einer geringeren Tiefe.



Das Dekompressionsmodell Bühlmann ZH-L16

Der OSTC-Tauchcomputer verwendet das Modell, das der Schweizer Professor Albert A. Bühlmann aufgestellt hat, genauer gesagt sein Modell „ZH-L16“. Dies ist ein weit verbreitet benutztes Modell. Das ZH steht dabei für Zürich, seiner Wirkungsstätte, und die 16 für 16 Gewebe, die in diesem Modell berechnet werden.

16 Gewebe

Im Gegensatz zu unserem einfachen Modell mit dem einen Gefäß, das unseren Körper darstellen sollte (siehe Abbildung 1-3), hat Bühlmann herausgefunden, dass unser Körper in Wahrheit komplizierter ist: Anstelle der einen „Öffnung“, dessen Weite die Menge an Gas, das je nach Druckunterschied in unseren Körper hinein- beziehungsweise aus ihm herausströmt, benötigt man seinem Modell zufolge bis zu 16 Gefäße, um nachzubilden, was in unserem Körper passiert.

Jedes dieser 16 Gefäße, im Modell „Gewebe“ genannt, hat dabei eine unterschiedlich große „Öffnung“, so dass bei gleichem Druckunterschied unterschiedlich große Mengen an Gas in die einzelnen Gewebe hinein- beziehungsweise aus diesen herausgehen. Das Gewebe mit der Nummer 1 gleicht sich am schnellsten mit dem Um-

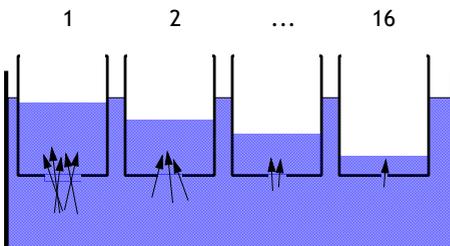


Abbildung 5

gebungsdruck aus, das Gewebe Nr. 16 am langsamsten (Abbildung 5).

Halbwertszeiten

Im Modell werden diese unterschiedlich langen Zeiten, die es zum Druckausgleich braucht, „Halbwertszeiten“ genannt. Nach Verstreichen von einer Halbwertszeit hat sich der Druckunterschied auf die Hälfte reduziert. Nach zwei Halbwertszeiten hat sich dann der Unterschied abermals halbiert, insgesamt damit auf ein Viertel, und so weiter. Dies gilt in gleicher Weise, wenn Gas in die Gewebe hineingeht, wie wenn es aus diesen herauskommt (Abbildung 6).

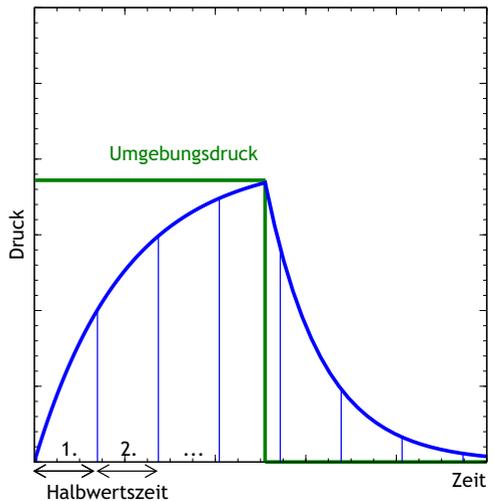


Abbildung 6

Schnelle und langsame Gewebe

Im Bühlmann ZH-L16 Modell hat das schnellste Gewebe eine Halbwertszeit von 4 Minuten, das langsamste von 635 Minuten, also über 10 Stunden. Da wir in der Regel keine Tauchgänge von mehre-

ren Stunden Dauer durchführen, werden die Gewebe mit den langen Halbwertszeiten, die sogenannten „langsamen“ Gewebe, zwar auch ein wenig Gas aufnehmen, aber bei weitem nicht so viel, als dass auch nur die Hälfte an Ausgleich mit dem Wasserdruck auf der Grundtiefe erreicht würde. Das schnellste Gewebe mit der Halbwertszeit von 4 Minuten und das zweitschnellste mit 8 Minuten schaffen dagegen oft schon einen Druckausgleich, bevor wir mit dem Auftauchen beginnen. Daher wird der Druck in den Geweben über der Dauer des Tauchgangs in etwa so aussehen wie in Abbildung 7 gezeigt:

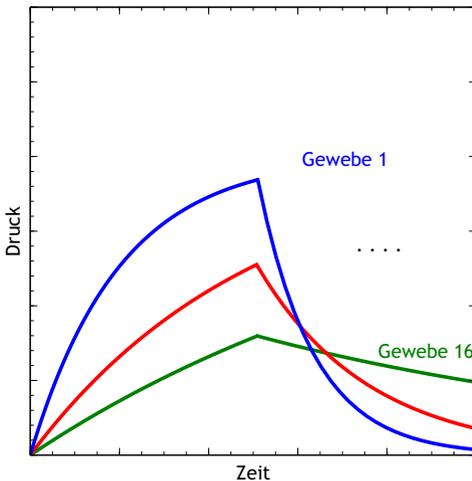


Abbildung 7

Gewebegrafik im OSTC

Tauchcomputer messen den Wasserdruck und berechnen anhand der Halbwertszeiten laufend die Drücke in den Geweben (tissues). Der OSTC tut dies jede zweite Sekunde, das Ergebnis können Sie auf seinem Bildschirm verfolgen (Abbildung 8). Die Balken sind von oben nach unten von den schnellen Geweben zu den langsamen

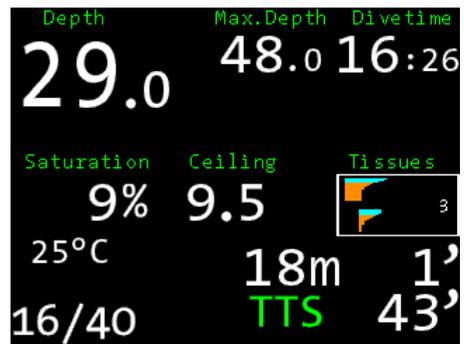


Abbildung 8

Geweben angeordnet. Je länger der Balken ist, desto höher ist der Druck im jeweiligen Gewebe. Ob sich ein Gewebe gerade füllt oder – beim Auftauchen – schon wieder Druck abbaut, wird durch die Farbe der Balken angezeigt: Orange Balken bedeuten, dass der Druck im Gewebe steigt, türkise Balken zeigen an, dass der Druck fällt.

Nullzeit und Dekostopp

Wie bestimmt sich nun die Nullzeit oder die Tiefe eines Dekompressions-Stopps? Mit Hilfe von vielen Experimenten und Feldstudien hat Bühlmann für jedes der 16 Modell-Gewebe den maximal zulässigen Überdruck ermittelt. Wie bereits vorher schon von dem Arzt Robert D. Workman herausgefunden wurde, ist dieser maximal zulässige Überdruck nicht konstant, sondern hängt vom Umgebungsdruck ab: Je tiefer wir tauchen, je höher also der Druck des uns umgebenden Wassers ist, desto mehr Druck dürfen die Gewebe über den Druck des umgebenden Wassers hinaus haben, bevor die in ihnen gelösten Gase beginnen, in Form von Gasblasen auszuperlen.

Das lässt sich grafisch in einem Diagramm darstellen (Abbildung 9). Die schwarze Linie steht für gleiche Drücke von Gewebe

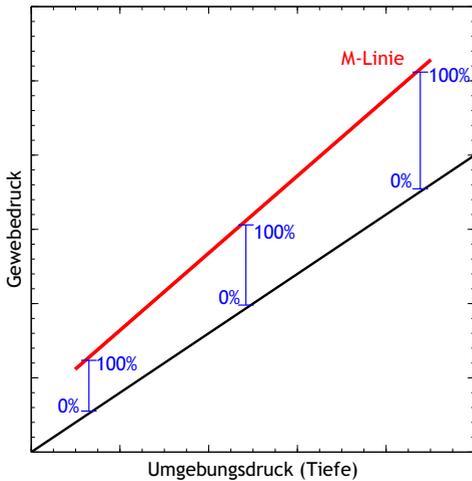


Abbildung 9

und Umgebung. Unterhalb dieser Linie ist der Druck im Gewebe kleiner als der Umgebungsdruck, das Gewebe wird sich also füllen und sein Druck steigen. Oberhalb der schwarzen Linie ist der Druck im Gewebe größer als der umgebende Wasserdruck, man sagt, das Gewebe ist „übersättigt“. In diesem Zustand wird das Gewebe Gas abgeben und sich sein Druck entsprechend der Halbwertszeit mit der Zeit verringern.

M-Linie

Die rote Linie zeigt den maximalen Druck an, den das Gewebe haben darf. Die blauen Skalen messen den Betrag des Überdrucks im Gewebe. Wie man sieht, sind die Skalen in Richtung größerer Wassertiefe länger, das Gewebe trägt in größeren Wassertiefen mehr Überdruck als in geringeren Tiefen. Um einen Dekompressionsunfall zu vermeiden, sollte sich der Gewebedruck immer unterhalb oder maximal auf der roten Linie, der „Maximalwert-Linie“ oder kurz „M-Linie“ befinden. Wo er in einem konkreten Fall liegt, lässt sich anhand der blauen Skalen sowohl als Druckwert (physikalisch

in der Einheit bar) angeben, als auch als Prozentwert zwischen der schwarzen Linie als 0% und der roten Linie als 100%. Liegt er jenseits der roten Linie, ergibt sich ein Wert größer 100%. Liegt er unterhalb der schwarzen Linie, so ist er strenggenommen nicht definiert, wird der Einfachheit halber aber zu 0% gesetzt. Diese Prozentzahl misst die (relative) Übersättigung des Gewebes, sie ist die „Sättigungszahl“.

Nun gibt es im Bühlmann-Modell ZH-L16 nicht nur eines, sondern 16 Gewebe. Jedes dieser 16 Gewebe hat seine eigene M- (Maximalwert-) Linie. Die „schnellen“ Gewebe mit den kurzen Halbwertszeiten vertragen dabei dem Modell zufolge deutlich mehr Überdruck als die „langsamen“ Gewebe mit den langen Halbwertszeiten. Deshalb liegen die M-Linien der schnellen Gewebe oberhalb der M-Linien der langsamen Gewebe (Abbildung 10).

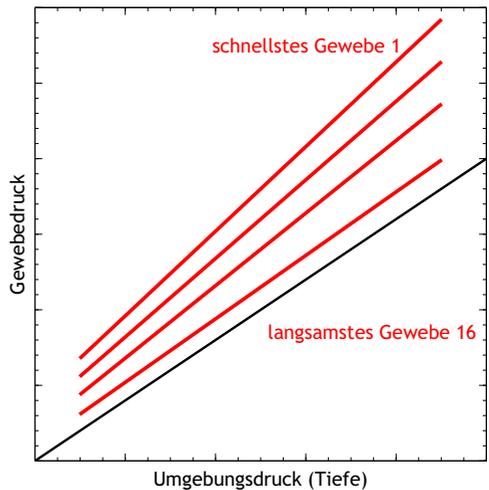


Abbildung 10

Da bedingt durch die unterschiedlichen Halbwertszeiten während des Tauchgangs die einzelnen Gewebe unterschiedlich schnell Druck aufbauen und da jedes Gewebe andere, tiefenabhängige Maximalwerte hat, hat jedes Gewebe zu jedem Zeitpunkt seine eigene Sättigungszahl.

Führendes Gewebe

Da alle Gewebe unterhalb ihrer jeweiligen M-Linien bleiben sollen, ist dasjenige Gewebe, welches die höchste Sättigungszahl hat, dasjenige welches unsere Nullzeit beziehungsweise die Tiefe des Deko-Stoppes bestimmt. Man nennt es das „führende Gewebe“. Wenn der OSTC die Drücke in den 16 Geweben berechnet, dann bestimmt er auch gleich die jeweiligen Sättigungszahlen und zeigt die größte gefundene Sättigungszahl an (Saturation, Abbildung 11).

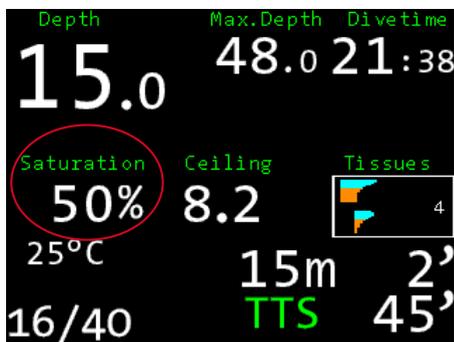


Abbildung 11

Rollenwechsel

Welches Gewebe das führende Gewebe ist, ändert sich im Verlauf des Tauchgangs. Zuerst wird es eines der schnellen Gewebe sein, da diese schnell Druck aufbauen. Da sie beim Auftauchen aber ebenso schnell wieder Druck abbauen und überdies auch viel Überdruck vertragen, werden nach und nach die immer langsameren Gewebe die

Rolle des führenden Gewebes übernehmen. Sie haben zwar nur wenig Druck aufgebaut, werden diesen aber ebenso wenig schnell wieder abbauen und können überdies auch nur weniger Überdruck vertragen. Welches Gewebe aktuell das führende Gewebe ist, zeigt der OSTC ebenfalls an und zwar mit der kleinen Zahl in der Gewebegrafik (Abbildung 12).

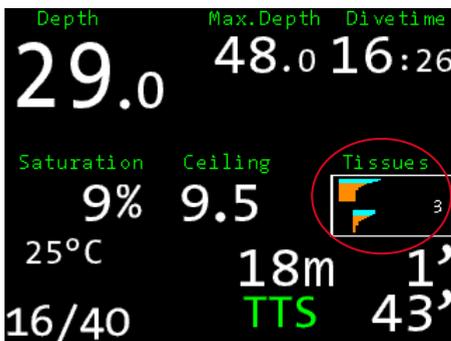


Abbildung 12

Ceiling

Ein weiterer Wert, den der OSTC laufend berechnet, ist die „Ceiling“. Die Ceiling ist die Tiefe, in der das erste Gewebe eine Sättigung von 100% erreichen wird. Solange die Ceiling als 0 angezeigt wird, können Sie direkt zur Wasseroberfläche aufsteigen, Sie befinden sich innerhalb der Nullzeit.

Ist die Ceiling-Tiefe größer als Null, so ist dies die Tiefe, auf der sie allerspätestens einen Stopp einlegen müssen, um den Geweben Zeit zu geben, Druck abzubauen, so dass sich die Ceiling-Tiefe verringert und Sie ein Stück weiter auftauchen können. Dies wird kontinuierlich passieren, bis die Ceiling schlussendlich zu Null wird und Sie an der Wasseroberfläche ankommen.

Mit diesem Wissen brauchen Sie nun eigentlich nichts weiter zu tun, als immer

so zu tauchen, dass die angezeigte Sättigungszahl nicht größer als 100% ist oder Sie nie flacher als die angezeigte Ceiling-Tiefe kommen und nie schneller aufsteigen als mit 10 Metern pro Minute (das ist so im Modell verankert), dann tauchen Sie innerhalb der Grenzen des Bühlmann-Dekompressions-Modells, das heißt innerhalb des Bereiches, in dem gemäß des Modells die Wahrscheinlichkeit sehr klein ist, einen Dekompressionsunfall zu erleiden.

Persönlicher Einfluss

Warum nur sehr klein? Nun, das Bühlmann-Modell ZH-L16 ist „nur“ ein Rechenmodell, welches zwar auf breiter Basis und viele Jahre lang erprobt ist, aber letztlich von Ihrer persönlichen körperlichen Konstitution, der Art wie Sie tauchen und vielen Faktoren mehr nichts weiß. Es ist sozusagen am „durchschnittlichen“ Taucher kalibriert. Damit können auch die zuvor erläuterten M-Linien keine scharfen Trennlinien zwischen den Bereichen von zu hohen Gewebedrücken und unbedenklichen Überdrücken sein. Es sind vielmehr die Lagen von Übergangsbereichen in Richtung steigenden Risikos, einen Dekompressionsunfall zu erleiden.

Indem Sie so tauchen, dass Sie unterhalb der M-Linien bleiben, also unterhalb eines Sättigungswertes von 100% beziehungsweise immer etwas tiefer als die nach dem Modell berechnete Ceiling-Tiefe, können Sie das Risiko eines Dekompressionsunfalls weiter verringern – zumindest soweit sich die Risikofaktoren innerhalb des Einflussbereiches des Modells befinden. Tauchcomputer unterstützen Sie dabei, in dem sie in die angezeigte Nullzeit und in die Tiefen und Dauern der Dekompressions-Stopps Sicherheitsfaktoren einrechnen können. Der

OSTC-Tauchcomputer bietet dabei die Möglichkeit, zwei Arten von Sicherheitsfaktoren einzustellen, die sie einzeln oder auch zusammen aktivieren können:

Sättigungs-Faktoren und Gradienten-Faktoren (GF).

Sättigungs-Faktoren

Mit den Sättigungsfaktoren, zwei Prozentwerten, beeinflussen Sie die Halbwertszeiten des Modells. Die Paarung 100%/100% steht dabei für das originale Bühlmann-Modell ZH-L16. Wenn ein Sättigungsfaktor größer als 100% eingestellt wird, dann werden in der Modellrechnung die Gewebe beschleunigt Druck aufbauen. Bei einem Einstellwert von zum Beispiel 110% werden so die berechneten Gewebedrücke um 10% schneller steigen, als es nach dem reinen Modell der Fall sein würde. Damit liegen alle weiteren aus den Gewebedrücken bestimmten Rechenwerte während der Abtauch- und Grundphase des Tauchgangs „vor der Zeit“, das heißt die Gewebedrücke sind künstlich erhöht und damit die Sättigungswerte überschätzt und die Nullzeit verkürzt.

Mit einem Sättigungsfaktor, der größer als 100% ist, können Sie zum Beispiel anstrengende Tauchgänge berücksichtigen, bei denen aufgrund höherer körperlicher Aktivität eine verstärkte Durchblutung und damit mehr Gastransport in den Körper hinein angenommen werden kann.

Der Gegenpart des Sättigungsfaktors ist der Entsättigungsfaktor. Auch dieser wirkt auf die Berechnung der Halbwertszeiten der Gewebe, jedoch anstelle des Sättigungsfaktors immer dann, wenn ein Gewebe entsättigt, also Druck abbaut. Mit dem

Entsättigungsfaktor können Sie den berechneten Druckabbau künstlich verlangsamen, was die Rechenergebnisse während der Auftauchphase wiederum zeitlich nachlaufen lässt und somit konservativer macht. Bei einem Einstellwert von zum Beispiel 90% fallen die berechneten Gewebedrücke um 10% langsamer als nach dem reinen Modell. Mit diesem Faktor lassen sich Bedingungen berücksichtigen, die den Gastransport aus den Geweben heraus verlangsamen können, wie Kälte oder ein ungünstiger BMI (Body-Mass-Index).

Gradienten-Faktoren (GF)

Gradienten-Faktoren nach Erik C. Baker sind ein weiteres Mittel, um in die Berechnungen eines Tauchcomputers einzugreifen, mit dem Ziel, konservativere Werte für die Nullzeit, die Ceiling-Tiefe und alle Deko-Stopps zu bekommen. Auch hier steht das Wertepaar 100%/100% für das originale Bühlmann-Modell ZH-L16. Die beiden Prozentzahlen heißen „GF low“ und „GF high“, zuerst wird der GF low angegeben, dann der GF high (zum Beispiel: 50/85).

GF high

Mit einem GF high-Wert kleiner 100% reduzieren Sie den maximal zulässigen Überdruck in den Geweben, die der OSTC bei der Berechnung der Ceiling-Tiefe und der Nullzeit ansetzt. Einfach gesagt: Wenn Sie zum Beispiel einen GF high von 80% einstellen, dann zeigt die Ceiling-Tiefe diejenige Tiefe an, auf der das führende Gewebe eine Sättigung von eben diesen 80% des Bühlmann-Maximalwertes erreichen wird. In gleicher Weise wird die Nullzeit so berechnet, dass beim Erreichen der Oberfläche am Ende der Nullzeit kein Gewebe eine Sättigung von

mehr als 80% haben wird. Ohne Gradientenfaktor wären es 100%.

GF low

Wenn die Nullzeit überschritten ist, dann kommt der GF low ins Spiel: Die Tiefe des ersten Dekompressions-Stopps wird so berechnet, dass auf dieser Stopp-Tiefe kein Gewebe eine Sättigung haben wird, die größer als der eingestellte GF low-Prozentsatz ist.

GF high – „oben“

Begrenzt die höchstzulässige Gewebesättigung beim Erreichen der Oberfläche,

GF low – „unten“

Begrenzt die höchstzulässige Gewebesättigung beim Erreichen des ersten Deko-Stopps.

Zusätzlich wird – aus der Tradition heraus – die Tiefe des angezeigten Deko-Stopps auf das nächste Vielfache von 3 Metern in Richtung größerer Tiefe gerundet.

Verschieben der M-Linie

Intern wirkt der Gradienten-Faktor auf die M-Linien aller Gewebe. Mit ihm wird sowohl die Steigung der M-Linie reduziert, als auch die gesamte M-Linie in Richtung der Druckgleiche-Linie verschoben. Somit wird also sowohl das Mehr an zulässigem Überdruck pro Mehr an Tiefe reduziert, als auch der zulässige Überdruck insgesamt reduziert.

Die originalen M-Linien des Bühlmann-Modells entsprechen einem Gradienten-Faktor von 100%. Die Druckgleiche-Linie entspricht einem GF von 0%, was keinerlei zulässige Übersättigung erlauben würde und damit keinen Druckabbau in den Geweben. Da mit einem GF von 0% somit das Auftauchen praktisch verboten würde, lässt sich in

der Praxis ein GF von 0% nicht einstellen. Im Wertebereich von 1% bis 99% wird die M-Linie, nach der der OSTC rechnet, proportional zum Prozentwert zwischen die originale M-Linie und die Druckgleiche-Linie gelegt (Abbildung 13).

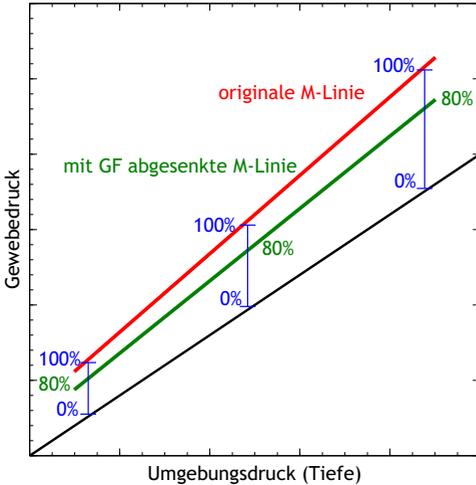


Abbildung 13

Je weiter Sie die M-Linie absenken, desto konservativer gestalten Sie die Belastung des führenden Gewebes. Bei den Deko-Stopps hat die Sache jedoch einen Haken: Während Sie das führende Gewebe deutlich unter seiner maximal möglichen Sättigung halten, sind die langsameren Gewebe oftmals noch gar nicht bei der Druckgleiche angekommen, sondern tatsächlich noch am weiteren Aufsättigen. Während Sie also die schnelleren Gewebe schonen, laden sich die langsameren Gewebe, die ja überdies nur weniger Überdruck vertragen, weiter auf. Dies führt dann unweigerlich dazu, dass die späteren Stopps in niedrigeren Tiefen, dort wo die langsameren Gewebe erst beginnen abzusättigen, länger werden müssen.

Wenn nun der GF low die Tiefe des ersten Deko-Stopps bestimmt und der GF high das Erreichen der Oberfläche, was passiert auf den Stopps dazwischen? Es gibt zwei Möglichkeiten:

Die Werte von GF low und GF high sind gleich: Dann wird die Dauer der Stopps so berechnet, dass am Ende jeden Stopps der Aufstieg auf die nächste Stopp-Tiefe gerade eben kein Gewebe über den eingestellten GF-Prozentsatz an Sättigung bringen wird.

Die Werte von GF low und GF high sind unterschiedlich: In diesem Fall werden für jede Stopp-Tiefe andere maximale Sättigungswerte angesetzt und zwar linear gemittelt zwischen GF low/GF high und der Tiefe der Stopps.

Dabei muss immer gelten:
 $GF\ low \leq GF\ high$ (Abbildung 14).

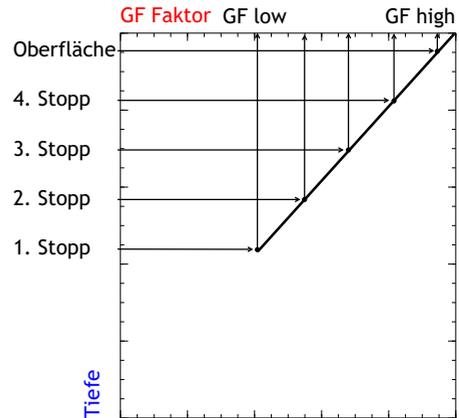


Abbildung 14

Warum und wann sollte man einen Tauchcomputer auf jedem Deko-Stopp mit einem etwas anderen Gradienten-Faktor rechnen lassen? Bei der Beschreibung der M-Lini-

en wurde gesagt, dass die Gewebe bei höherem Umgebungsdruck einen höheren Überdruck vertragen. Der Druck in den Geweben kommt durch das in ihnen gelöste Gas zustande. Solange Sie mit Luft oder Nitrox tauchen, ist dieses Gas der Stickstoff. Zwar ist in Luft und insbesondere in Nitrox neben dem Stickstoff auch Sauerstoff enthalten, der natürlich auch in Ihre Körpergewebe transportiert wird, jedoch sammelt er sich dort nicht an, da er vom Stoffwechsel Ihres Körper an Ort und Stelle stetig verbraucht wird. Somit rechnet das klassische Bühlmann-Modell die Auf- und Absättigungen und die maximal zulässigen Gewebe-Drücke mit den Halbwertszeiten und M-Linien von Stickstoff.

Berechnung mit Trimix

Nun werden von zunehmend mehr Tauchern aber nicht nur die Gase Luft und Nitrox benutzt, sondern auch „Trimix“, was ein Gemisch aus Sauerstoff, Stickstoff und Helium ist. Helium wird, wie auch der Stickstoff, vom menschlichen Körper nicht verbraucht, er sammelt sich deshalb zusätzlich zum Stickstoff in den Geweben und trägt zur Druckerhöhung in diesen bei.

Helium ist ein sehr leichtes Gas, dessen Moleküle sehr viel kleiner sind als die des Stickstoffs, außerdem ist das Verhältnis zwischen der Menge an im Gewebe gelösten Gas und dem resultieren Druckanstieg ein anderes als bei Stickstoff. Deshalb gelten die Halbwertszeiten und M-Linien des Stickstoffs für Helium nicht. Tatsächlich gibt es für das Helium einen zweiten Satz von Halbwertszeiten und einen zweiten Satz von M-Linien, mit denen der Tauchcomputer das Verhalten des Heliums in den Geweben berechnet und die Ergebnisse mit denen für den Stickstoff kombiniert.

Im Gegensatz zu den Halbwertszeiten und M-Linien für den Stickstoff sind die für das Helium jedoch nicht so umfassend erprobt worden – tatsächlich sind sie eher von denen des Stickstoffs durch Verhältnissetzung der physikalischen Eigenschaften mathematisch abgeleitet.

In der Praxis technischer Tauchgänge zeigt sich nun, dass die Annahme, die Gewebe könnten bei höherem Umgebungsdruck einen höheren Überdruck vertragen, für das Helium nicht in dem Maße stimmt wie für den Stickstoff, die M-Linien für das Helium mithin bei der mathematischen Ableitung zu steil geraten sind. Und genau dies wird bei technischen Tauchgängen mit Trimix als Atemgas kompensiert, in dem der zulässige Überdruck auf dem ersten Stopp mit dem GF low stärker zurück genommen wird und dann Stopp für Stopp langsam in Richtung des GF high erhöht wird (Abbildung 15).

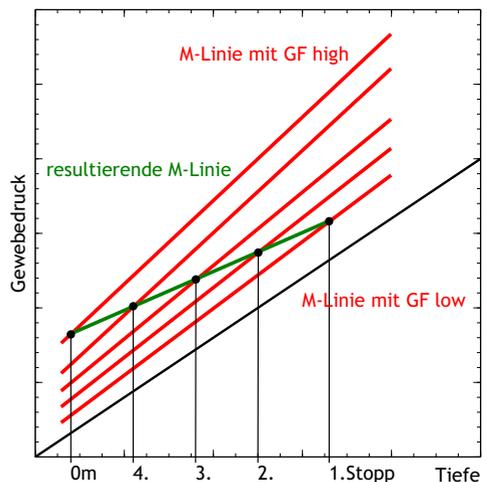


Abbildung 15



Eine Bitte zum Schluss

OSTC-Tauchcomputer haben keinen „Fehlermodus“, sie schalten sich auch bei groben Verletzungen des Bühlmann-Modells nicht ab und sie haben auch keine geheim gehaltenen Modell-Erweiterungen, die auf eine nicht weiter erklärte Weise auf die Berechnungen einwirken. Wenn die Grenzen des Bühlmann-Modells überschritten werden, so wird dies zwar angezeigt, der OSTC wird aber trotzdem ausschließlich gemäß der hier beschriebenen Weise das Modell weiter berechnen, um Ihnen auf eine nachvollziehbare Weise weitere Daten zu liefern.

Ein Tauchcomputer ist dennoch nur ein technisches Gerät, das ausschließlich seinen einprogrammierten Regeln folgt. Als solches kann und darf es nur ein Hilfsmittel sein, das Sie beim Treffen von Entscheidungen unterstützt. Vertrauen Sie niemals blind den Zahlen und Hinweisen, die er anzeigen mag. Sie müssen verstehen, was bei ihrem Tauchgang passiert, um auch bei niemals ganz auszuschließenden Fehlfunktionen oder Ausfällen Ihren Tauchgang sicher beenden zu können.



www.heinrichsweikamp.com