

Abschätzungen von Tauchgangsdaten

Grundlagen der Tabellenbenutzung und Rechnungen zu Tauchgängen für Sporttaucher

Der Text versucht, mit minimalem theoretischen Aufwand, einfachste Prozeduren der Abschätzung von Tauchgangsdaten vorzuführen. Auf den ersten Seiten wird die Benutzung von Dekompressionstabellen beschrieben; auf den restlichen Seiten werden Tauchgangsdaten abgeschätzt. Der Text umfaßt nicht den Ausbildungsumfang der DLRG für Gerätetaucher.

Von 1988 bis 1994, zusammengestellt von Haiko Schmarsow, im Rahmen der Tauchausbildung der Tauchergruppe der DLRG Wiesbaden-Biebrich unter Förderung durch Tauchwart Andreas Menger. Für die Anregungen bedankt sich der Autor bei Stefan Keim und Markus Krist vom DLRG Wiesbaden-Biebrich und Oliver Bindi vom DLRG Wiesbaden-Schierstein, Dr. Max Hahn vom VDST sowie Herrn Sachs von der Hessischen Ausführungsbehörde für Unfallversicherung.

Adresse: H. Schmarsow, Birkenweg 6, 65623 Hahnstätten

Homepage: <http://home.t-online.de/home/schmarsow/>

E-mail: schmarsow@t-online.de

Arten von Tauchgängen

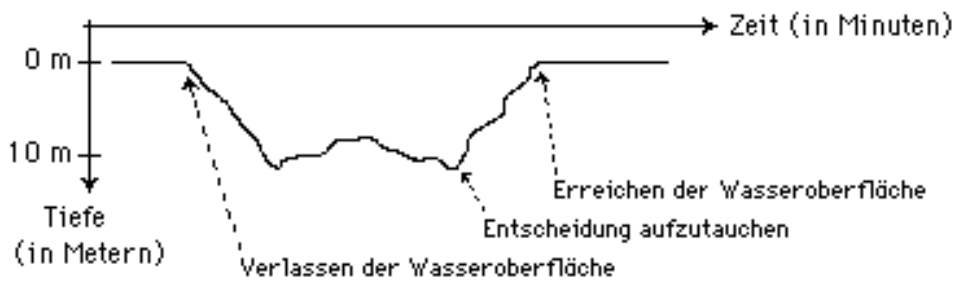
Zuerst ein Überblick: Man kann vier Arten von Tauchgängen unterscheiden: Nullzeittauchgänge, Dekompressionstauchgänge, Wiederholungstauchgänge und Bergseetauchgänge. Manche dieser Typen können sich überschneiden. Für jeden dieser Tauchgangstypen holt man sich passende Informationen aus den Tabellen im Anhang dieses Textes.

Tabellenanwendung-Bedeutung

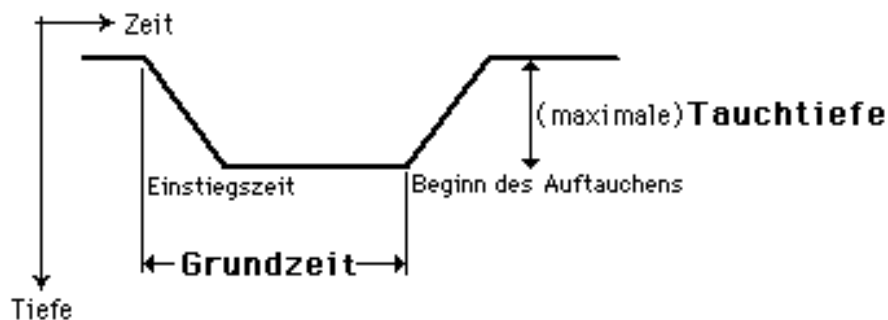
In diesem ersten Abschnitt wird nur die Benutzung der Tabellen erläutert. Man macht sich keine Gedanken über den endlichen Luftvorrat in der Tauchflasche, der die Aufenthaltsdauer unter Wasser begrenzt. Die folgende Beschreibung nimmt also an, daß die tauchende Person, z.B. über einen Druckluftschlauch, von der Wasseroberfläche her mit Atemluft versorgt wird. D.h. der Luftvorrat unter Wasser sei unbegrenzt. (Später im Abschnitt über Tauchgangsabschätzungen werden Rechnungen beschrieben und Beispiele gegeben, die die endliche Atemgasmenge in der Tauchflasche berücksichtigen.)

Tauchgangsprofile und ihre charakteristischen Daten

Es wird nützlich sein, den Tauchgang einer Person als Diagramm darzustellen, indem man die Tauchtiefe entlang der Zeit aufträgt:



Diese Diagramme werden im folgenden verkürzt und idealisiert verwendet:



Die wichtigen Daten sind: Die (größte bzw. maximale) Tauchtiefe (ablesbar am Tiefenmesser). Mit der Taucheruhr ermittelbar ist die Zeit vom Verlassen der Wasseroberfläche bis zum Beginn des Auftauchens, genannt Grundzeit¹. Dies ist die Zeit, die man sich unter Wasser befindet, bis man sich entscheidet aufzutauchen.

¹ Die Nützlichkeit dieses Begriffes wird auf S.10 unten, näher erläutert.

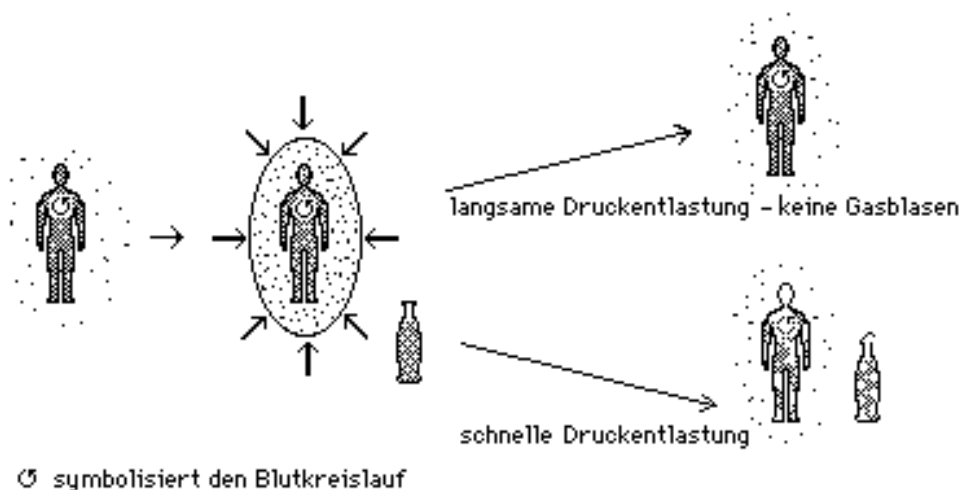
Warum sollte man beliebig schnelles Auftauchen nach einem Tauchgang vermeiden ?

Auf tauchenden Menschen lastet unter Wasser zusätzlich zum Atmosphärendruck noch der Druck der über ihnen liegenden Wassersäule. Taucher mit Pressluftgeräten erhalten ihre Atemluft mit Umgebungsdruck. Sie atmen ihre Atemluft unter Wasser also mit dem erhöhten Umgebungsdruck.

Dies setzt folgenden Mechanismus in Gang:

Nach dem Abtauchen wird die Atemluft unter dem erhöhtem Umgebungsdruck geatmet. Transportiert durch den Blutkreislauf, diffundiert verstärkt Atemluft in das Körpergewebe. Taucht man zu schnell auf, d.h. entlastet man sich plötzlich vom erhöhten Umgebungsdruck, so geschieht die Rückdiffusion und der Rücktransport über den Blutkreislauf nicht schnell genug. In den Körperorganen ist die Gaskonzentration so groß, daß dort Gasblasen entstehen.

(Standardbeispiel: Öffnet man eine Colaflasche, so wird der Inhalt schnell druckentlastet. In der Flüssigkeit ist soviel Gas gelöst, daß die nun überschüssige Gasmenge, die Flüssigkeit einfacher durch Gasblasenbildung verläßt, als durch Diffusion. Der Effekt des Kreislaufes kann durch Rühren in der Colaflasche idealisiert werden.)



Was ist Diffusion ?

Gasteilchen können sich, wenn auch nur in geringer Konzentration, in Flüssigkeiten (oder festen Körpern) aufhalten und fortbewegen. Die Fortbewegung von Teilchen in Flüssigkeiten oder festen Körpern nennt man Diffusion.

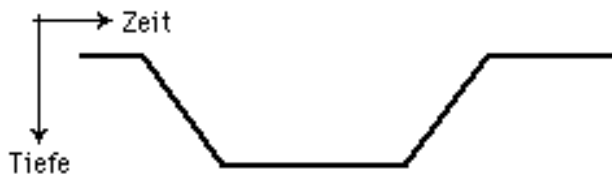
Ein Diffusionsprozess kommt durch Konzentrationsunterschiede in Gang.

Warum braucht man Tabellen ?

In einem tauchenden Menschen sind die Einflüsse auf die Lösung von Gasen so komplex, daß man sich auf Erfahrungswerte und mathematische Modelle stützt, die Ergebnisse wurden tabelliert. Daher die Wichtigkeit der Tabellen in den folgenden Betrachtungen.

Nullzeittauchgänge

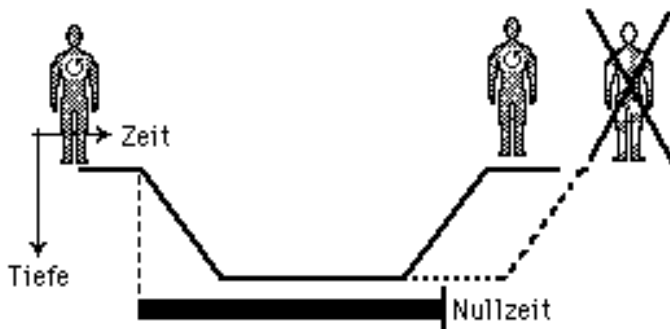
Bei kurzen, flachen Tauchgängen, wie sie von Sporttauchern meist durchgeführt werden, wird der oben beschriebene Mechanismus gewöhnlich nicht gefährlich. Man taucht ab, hält sich eine Weile unter Wasser auf, und kehrt zur Oberfläche zurück. Wie im folgenden Diagramm angedeutet:



Wie kurz und wie flach darf ein Tauchgang sein, damit beim Auftauchen im allgemeinen keine den Taucher gefährdenden Gasblasen im Körpergewebe entstehen ?

Für jede Tauchtiefe gibt es eine bestimmte Grundzeit bis zu der man das obige Tauchprofil ohne nennenswerte Gesundheitsgefährdung tauchen darf: Diese Zeit heißt Nullzeit. Die Tauchgänge vom obigen Typ heißen Nullzeittauchgänge. Für eine gegebene Tauchtiefe kann man die Nullzeit aus Tabellen (siehe Anhang) ablesen.

Die Nullzeit sagt also, wie lange man vom Verlassen der Wasseroberfläche an, Zeit hat sich zu entscheiden direkt zur Wasseroberfläche aufzutauchen. Dies gilt für eine vorgegebene maximale Tauchtiefe.



Beispiel:

Tauchgang mit größter Tauchtiefe 25 m. Bis zu Beginn des Auftauchens sind 15 min vergangen.

Betrachte die Austahtabelle VBG39. Betrachte darin die Spalte1: größte Tauchtiefe(m) 27 und die erste Zeile ohne ausgewiesene Haltezeiten(Spalte 3).

Das bedeutet: Bei einer maximalen Tauchtiefe von 27 m hat man eine Nullzeit von 25 min.

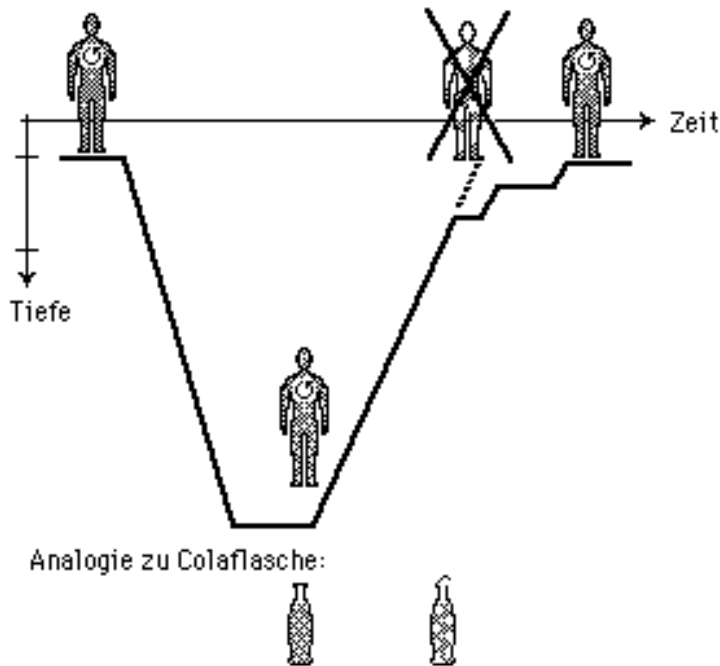
Die 15 min Grundzeit liegen also innerhalb der Nullzeit von 25 min, man kann dieses Profil ohne nennenswerte Gesundheitsgefährdung tauchen.

Findet man seine Werte (25m) nicht in der Tabelle realisiert, so wählt man die größeren aus der Tabelle (27m) und ist damit auf der sicheren Seite d.h man überschätzt die Werte und schafft sich dadurch einen Sicherheitsspielraum.

Dekompressionstauchgänge

Beim Auftauchen aus langen oder tiefen Tauchgängen vermeidet man die gefährliche Gasblasenbildung im Körpergewebe, indem man langsam auftaucht, sich also langsam druckentlastet. Sehr langsam aufzutauchen ist sehr schwer, stattdessen legt man Pausen beim Auftauchen ein. Je nach Tauchtiefe und Tauchdauer, verweilt man in einer bestimmten Tiefe eine bestimmte Zeit und setzt danach das Auftauchen fort.

Diese Auftauchpausen heißen Deko(mpressions)pausen. Die Tauchgänge, bei denen Auftauchpausen notwendig sind, heißen Dekompressionstauchgänge, und werden durch folgenden Diagrammtyp beschrieben:



Für gegebene Grundzeit und Tauchtiefe, kann man aus Tabellen die Zahl der Austauchpausen, ihre jeweilige Tiefe und Dauer ablesen:

Beispiel:

Tauchgang mit größter Tauchtiefe 25 m. Bis zu Beginn des Auftauchens sind 33 min vergangen.

Betrachte die Austauchtabelle VBG39.

Betrachte die Spalte 1: Größte Tauchtiefe(m) 27

und in der Spalte 2: Tauchzeit...(min) die Zeile mit dem Wert 40.

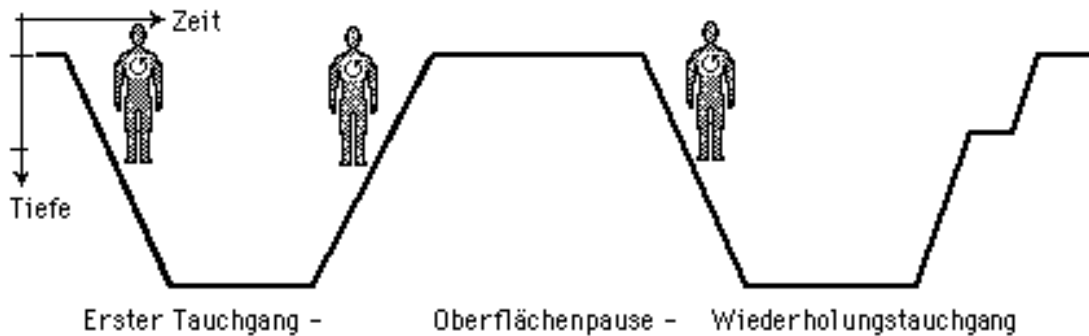
Dies liefert ein Auftauchprofil: erste Pause: 5 min in 6 m Tiefe,
zweite Pause: 5 min in 3 m Tiefe.

(Frage: Wo etwa liegt im oberen Diagramm die Nullzeit?

Antwort: zeitlich vor dem Beginn des Auftauchens.)

Wiederholungstauchgänge

Eine geöffnete Colaflasche hat noch nach Stunden einen leicht prickelnden Geschmack. Auch Stunden nach einem Tauchgang befindet sich bei einem Taucher noch überschüssige gelöste Atemluft im Gewebe. Taucht er nun nochmals, so muß man dies berücksichtigen. Tauchgänge, bei denen die im Körpergewebe gelösten Gase von vorangehenden Tauchgängen berücksichtigt werden, heißen Wiederholungstauchgänge _____. Sie sind durch folgendes Diagramm charakterisierbar:



Beispiel mit hier nicht beigelegter Austauschabelle DECO'92:

Erster Tauchgang: (Tauchgang aus Nullzeitbeispiel)

Tauchgang mit (größter) Tauchtiefe 25 m. Bis zu Beginn des Auftauchens sind 15 min vergangen.

Betrachte die Austauschabelle DECO '92 0-700 m ü.N.N..

Betrachte die Spalte: Tauchtiefe(m) Nullzeit(min) unter 27 / 18'.

Dies liefert: keine Dekompressionspausen notwendig, aber hier wird die Zeile mit der Grundzeit 15 min wichtig weil sie dem Tauchgang, die Wiederholungsgruppe D zuordnet.

Oberflächenpause:

Nach diesem Tauchgang legt der Taucher eineinhalb Stunden (1 h 30 min) Pause ein.

Betrachte die Tabelle für Oberflächenpausen und Wiederholungstauchgänge (0-1500 m ü.N.N.):

Im oberen Teil der Tabelle gehen ein: Wiederholungsgruppe D und die Oberflächenpause von 1 h 30 min. Diese Daten markieren die letzte Spalte des unteren Tabellenteils.

Wiederholungstauchgang

Tauchgang mit größter Tauchtiefe 25 m. Bis zu Beginn des Auftauchens sind 15 min vergangen. (Gleiche Tiefe - gleiche Grundzeit wie der erste Tauchgang !)

Betrachte die Tabelle für Oberflächenpausen und Wiederholungstauchgänge:

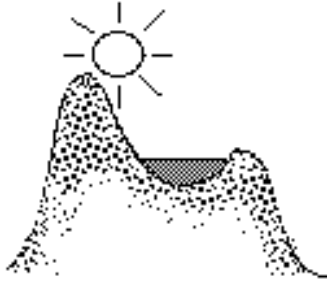
Betrachte dort die letzte Spalte des unteren Teils: unter der Zeile "Tiefe des Wiederholungstauchganges" "27 m" findet man so 5 min Zeitzuschlag zur Grundzeit.

D.h. getaucht werden 15 min Grundzeit, aber die Tabellenwerte für diesen Tauchgang werden unter 20 min Grundzeit gesucht !

Betrachte die Austauschabelle DECO '92 0-700 m ü.N.N.: Betrachte die Spalte: Tauchtiefe(m) Nullzeit(min) unter 27 / 18' und die Zeile zu: Grundzeit 20 min. Dies liefert eine Dekopause von 1 min auf 3 m !

Beachte: Erster Tauchgang und Wiederholungstauchgang haben gleiche Tauchtiefen und Grundzeiten! Trotzdem hat man beim Wiederholungstauchgang eine Dekopause einzulegen, weil bei Beginn des zweiten Tauchganges, noch vom ersten Tauchgang überschüssiges Atemgas im Körpergewebe gelöst war.

Bergseetauchgänge



Tauchgewässer finden sich auch in den Bergen. In großer Höhe ist der Luftdruck geringer. Auf Meereshöhe beträgt dieser etwa 1 bar; in 5000 m etwa 0.5 bar also die Hälfte. Das gleiche gilt für das gelöste Gas im Gewebe der Menschen. Es ist etwa nur noch halb so viel Gas im Körper gelöst.

Grob verkürzt bedeutet dies: Beim Auftauchen muß darauf geachtet werden, daß mehr gelöstes Atemgas den Körper verläßt. Das bedeutet Dekompressionspausen sind durchschnittlich früher und länger beim Auftauchen. Dies findet man etwa bestätigt in der Austauschtable DECO '92 701-1500m ü.N.N..

Zwei der wichtigsten Begriffe für folgende Tauchgangsabschätzungen sind:

Grundzeit : Vom Beginn des Abtauchens: Die Zeit die man sich unter Wasser befindet, bis man sich entscheidet aufzutauchen.

Nullzeit : Vom Beginn des Abtauchens: Entscheidet man sich innerhalb dieses Zeitraumes aufzutauchen, so braucht man keine Dekompressionspausen. Die Nullzeit ist abhängig von der maximalen Tauchtiefe.

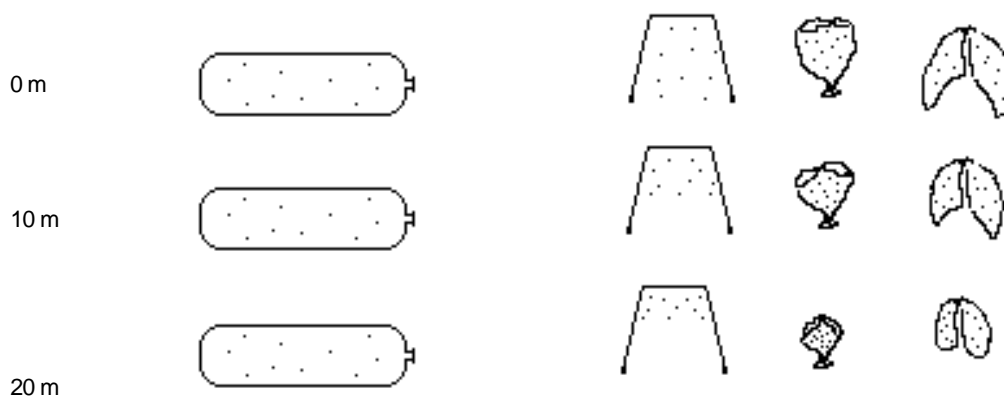
Bisher wurde der Umgang mit den Tabellen beschrieben, jetzt soll für einen gegebenen Atemluftvorrat die Zeit gesucht werden, die man maximal unter Wasser bleiben kann. Dazu sind ein paar begriffliche Grundlagen nützlich. Allerdings kann man auch ohne das Wissen um diese Grundlagen die drei Beispiele zu Abschätzungen von Tauchgangsdaten auf den verbleibenden Seiten bearbeiten.

Gasmenge - intuitive Definition

Betrachte verschiedene gasgefüllte Behälter über und unter Wasser:

Wassertiefe Tauchflasche

Eimer oder luftgefüllte Tüte, Schnorcheltaucher-
lunge



Bei starren geschlossenen Behältern hält die Festigkeit des Behälters die Druckdifferenz zwischen innen und außen aufrecht.

Im Inneren der Gasflasche bleiben Druck und Volumen konstant, unabhängig von den äußeren Umständen.

Die auf diesem Blatt gezeigten Behälter lassen keine Luft, keine Gasteilchen, entweichen. Die betrachtete Gasmenge ist also in jeder Wassertiefe dieselbe.

Eine Gasmenge kann man durch die Zahl ihrer Gasteilchen beschreiben (im obigen Beispiel waren dies jeweils 10).

Oder man kann die Gasmenge durch ihr Gewicht beschreiben (Bei Atmosphärendruck und Raumtemperatur haben 10 Liter Luft etwa 13 Gramm Masse).

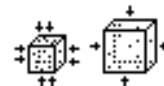
Diese beiden Möglichkeiten zur Beschreibung einer Gasmenge sind hier aber zu unhandlich.

Physikalische Größen der Gasmenge die hier gut zugänglich, sind Druck p und Volumen V .

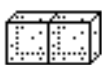
Messungen an einer Gasmenge (z.B. am Eimerbeispiel) ergeben:

je größer der Druck desto kleiner das Volumen bei gleicher Teilchenzahl d.h.

Druck der Gasmenge mal Volumen der Gasmenge ist gleich einer Konstante (unabhängig von Druck und Volumen) ! D. h. kurz: $p \cdot V = \text{const.}$



Die doppelte Gasmenge braucht bei gleichem Druck das doppelte Volumen, es ergibt sich:



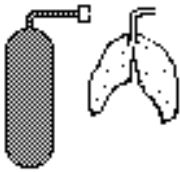
$p \cdot 2 \cdot V = 2 \cdot \text{const.}$ Die Konstante ist also proportional zur Menge des Gases.

Definiere als Maßzahl für die Gasmenge: $G = p \cdot V$

Gasmengeverbrauch beim Atmen unter Wasser

Taucherlunge
mit Pressluftgerät

in Tauchtiefe



0 m

Je nach der körperlichen Verfassung des Tauchers wird ein bestimmtes Volumen Luft pro Minute durch die Lunge geatmet. (in Ruhe c.a. 6-7 liter/min, unter Belastung bis 100 liter/min)

10 m

Unter Wasser gibt der Druckminderer die Atemluft mit dem Umgebungsdruck des Wassers ab, daher wird die Lunge beim Abtauchen nicht zusammengedrückt (anders als beim Schnorcheltaucher). Das durch die Lunge beförderte Luftvolumen bleibt das gleiche wie an der Oberfläche, siehe oben.



20 m

Die Lunge wird beim Abtauchen nicht zusammengedrückt weil das Gas vom Druckminderer mit dem gleichen Druck abgegeben wird, wie er in der Umgebung herrscht. D.h. ein Atemzug unter Wasser hat das gleiche Volumen wie an der Wasseroberfläche.

Da das Atemgas den Umgebungsdruck besitzt, findet man in einem Liter Atemgas in dieser Tiefe (unter einem Druck von mehr als einem Bar) mehr Gasteilchen als in einem Liter Gas an der Wasseroberfläche. D.h. in einem Atemzug unter Wasser befinden sich mehr Gasteilchen als in einem Atemzug über Wasser.

Ein Atemzug unter Wasser läßt so mehr Gasteilchen die Lunge passieren als ein Atemzug über Wasser. D.h. beim Atmen unter Wasser wird eine größere Gasmenge verbraucht als beim Atmen über Wasser; bei gleichem Volumendurchsatz wie an der Oberfläche.

Rechenbeispiel: Zum Abschätzen des Luftverbrauches unter Wasser eignet sich daher der Gasmengebegriff: Das geatmete Volumen pro Minute² AMV , multipliziert mit der Zeit t ergibt, das geatmete Gesamtvolumen $V_{ver} = AMV \cdot t$ während der Zeit t .

z.B. mit $AMV = 20 \text{ l/min}$ und $t = 5 \text{ min}$ ergibt sich: $V_{ver} = 100 \text{ l}$

Atmet man also *20 Liter pro Minute eine Zeit von 5 Minuten*, so werden dabei *100 Liter Volumen des Atemgases verbraucht.*

geatmete Gasmenge über Wasser ($p = 1 \text{ bar}$): $G_{ver} = p \cdot V_{ver} = 1 \text{ bar} \cdot 100 \text{ l} = 100 \text{ barl}$

geatmete Gasmenge in *20 m Tiefe* ($p = 3 \text{ bar}$): $G_{ver} = p \cdot V_{ver} = 3 \text{ bar} \cdot 100 \text{ l} = 300 \text{ barl}$

Also wird in *20 m Tiefe* die dreifache Gasmenge verbraucht, verglichen zum Verbrauch an der Wasseroberfläche!

Bei gleichem Volumenverbrauch passieren, durch den hohen Umgebungsdruck in 20m Tiefe, dreimal so viele Gasteilchen die Lunge.

² Wie man sein persönliches Atemminutenvolumen unter Tauchgangsbedingungen abschätzt, wird auf Seite 13 erläutert.

Gasmenge - Zusammenfassung und Anwendung

Motivation: Das Boyle-Mariotte-Gesetz gibt die Relation zwischen dem Druck p und dem Volumen V einer betrachteten "Gasmenge" an: $p \cdot V = \text{const.}$. Die Konstante const. ist von Druck und Volumen unabhängig, aber proportional der "Menge" des betrachteten Gases.

Definition: Maß für Gasmenge **$G := p \cdot V$**

(Die hier verwendete Einheit der Gasmenge ist 'barliter' oder 'literbar', kurz 'barl' oder 'lbar'.)

Begründung mit dem Idealgasgesetz:

Das Boyle-Mariotte-Gesetz ist ein Spezialfall des Idealgasgesetzes $p \cdot V = N \cdot k \cdot T$. Der Ausdruck $N \cdot k \cdot T$ ist für konstante Temperatur T direkt proportional zur Teilchenzahl N und damit auch zur Masse der betrachteten Gasmenge. (Der Gas mengenbegriff ist damit nur sinnvoll bei konstanter Temperatur^{3!})

Anwendungsbeispiele:

Ein Liter Luft unter einem Bar Druck ist eine Gasmenge von 1 barl. Diese Gasmenge hat die Masse von etwa 1.3 g.

Pressluftflascheninhalt:

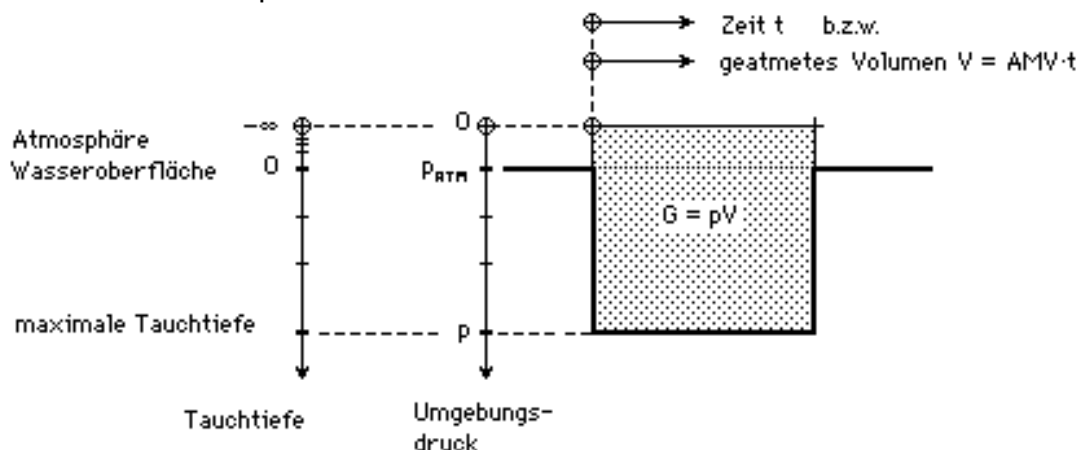
Die typische Gasmenge G_{fl} in einer gefüllten Pressluftflasche ($p_{fl} = 200 \text{ bar}, V_{fl} = 10 \text{ l}$) ist $G_{fl} = 2000 \text{ barl}$. Entspannt man diese Gasmenge auf den Atmosphärendruck p_{ATM} von einem Bar, so nimmt sie ein Volumen $V = G_{fl}/p_{ATM} = 2000 \text{ barl}/1 \text{ bar} = 2000 \text{ l}$ ein. Das entspricht etwa dem Volumen einer Telefonzelle (etwa zwei Kubikmeter).

Gas mengenverbrauch in konstanter Wassertiefe:

Das geatmete Gasvolumen V ist berechenbar aus der Zeit t die man in der Tiefe bleibt, und dem geatmeten Volumen pro Zeiteinheit (auch Atemminutenvolumen AMV genannt, verwendete Einheit liter/min).

Das in der Zeit t geatmete Gasvolumen ist: **$V = t \cdot AMV$** .

Der Lungenautomat macht den Gasdruck der Atemluft, gleich dem Umgebungsdruck p unter Wasser ($p = \text{Atmosphärendruck plus ein Bar pro 10m Wassertiefe}$). Die verbrauchte Gasmenge G , läßt sich aus $G = p \cdot V$ berechnen.



Die in der Wassertiefe mit Druck p ,
in der Zeit t ,
mit dem geatmeten Volumen pro Zeiteinheit AMV
verbrauchte Gasmenge ist **$G = p \cdot t \cdot AMV$** .

³ Die Temperaturschwankungen, die beim Sporttauchen auftreten, werden im Folgenden vernachlässigt, daher ist der so definierte Gas mengenbegriff sinnvoll.

Beispiel für Tauchgangsabschätzung (Rechtecknäherung)

In den Abschätzungsbeispielen kann der Leser die fehlenden Werte einsetzen.

Situation: Ein Taucher hat eine 10l-Pressluftflasche mit 200 bar gefüllt. Er plant 10 m tief zu tauchen und erwartet ein Atemminutenvolumen von maximal 30 l/min. Wie lange kann der Taucher unter Wasser bleiben, bis er sich entscheidet aufzutauchen ?

Flaschendaten - Gasmengenvorrat (Luftvorrat)

Volumen der Flasche $V_{fl} = \text{___ l}$
 Fülldruck $p_{fl} = \text{___ bar}$
 Gasmenge in der Flasche $G_{fl} = p_{fl} \cdot V_{fl} = \text{___ barl}$
 Reserveluft abziehen, V_{fl} mal 50 bar = 500 barl
 $G_{fl} = \text{___ barl}$ (1500 barl)

Tauchgangsdaten - verbrauchte Gasmenge (Luftbedarf) beim Atmen unter Wasser

geatmetes Volumen pro Zeiteinheit $AMV = \text{___ l/min}$
 geplante maximale Tauchtiefe ___ m liefert Umgebungsdruck $p = \text{___ bar}$
 ($p = \text{Atmosphärendruck plus ein Bar pro 10m Wassertiefe}$)
 Grundzeit $t = ?$

$$G_{ver} = p \cdot t \cdot AMV$$

setze verbrauchte Gasmenge (Luftbedarf) = Gasmengenvorrat (Luftvorrat)

und löse nach der maximalen Grundzeit:

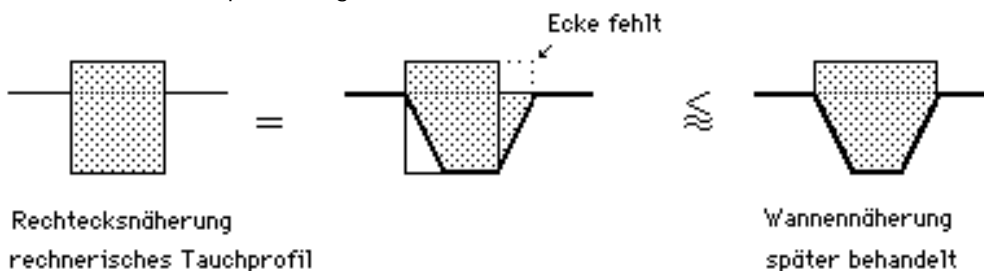
$$\begin{aligned} G_{ver} &= G_{fl} \\ p \cdot t \cdot AMV &= G_{fl} \\ t &= G_{fl} / p \cdot AMV = \text{___ barl} / (\text{___ bar} \cdot \text{___ l/min}) = \text{___ min} \end{aligned}$$

(Lösung: Die Grundzeit darf maximal 25 min betragen. (erheblich unter der Nullzeit von 142 min aus der Austauschabelle DECO '92 0-700m ü.N.N. oder der Unbeschränktheitsaussage der VBG39))

Frage: Müssen die Abtauch- und Auftauchvorgänge gesondert berechnet werden?

Antwort: Näherungsweise nicht; das was man an Atemluft beim Abtauchen spart, weil man sich noch nicht auf der Tauchtiefe befindet, nutzt man zum Atmen beim Auftauchen. (Zusätzliche Reserven entstehen, weil man im allgemeinen nicht den ganzen Tauchgang auf der maximalen Tauchtiefe taucht.) Man braucht also nur mit der Grundzeit zu rechnen.

In anderer Formulierung: Der Gasmengenverbrauch des Rechtecksprofils, kann dem eines realistischen Wannensprofils angenähert werden:



Das rechnerische Tauchprofil hat gerade die Länge der Grundzeit!⁴

⁴ Diese Überlegungen machen den Begriff der Grundzeit so nützlich. Genaueres siehe Anhang!

Tauchgangsabschätzungen mit Dekompressionspausen

Nochmals der Grund für Dekompressionspausen:

Der Druck der Atemluft ist unter Wasser gleich dem Umgebungsdruck (= Wasser- + Atmosphärendruck) d.h. größer als die 1 bar des Atmosphärendrucks. Die Gasmoleküle der Atemluft diffundieren daher beim Aufenthalt unter Wasser über die Lunge in das Transportmedium Blut und von dort ins restliche Körpergewebe. Geschieht das Auftauchen zu schnell, so wird das Gefälle der Gaskonzentrationen zwischen Körper und Umgebung so groß, daß die Rückdiffusionsgeschwindigkeit und die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes nicht mehr ausreicht, es bilden sich Gasbläschen im Körper. Um dies zu vermeiden, verlangsamt man das Auftauchen durch Einlegen von Schwebepausen unter Wasser, den "Dekompressionspausen" oder "-stufen".

Fazit: Die begrenzte Strömungsgeschwindigkeit des Blutes, insbesondere in den Kapillargefäßen, die begrenzte Diffusionsgeschwindigkeit der Gasteilchen im Körpergewebe, und die begrenzte Löslichkeit von Gasen im Körpergewebe verlangen Dekopausen. Ohne Dekopausen käme es zu gefährlicher Gasblasenbildung in den Organen des Körpers.

Bemerkung: Da die Dekompressionsstufen eingehalten werden sollten, sollte man in sehr geringen Tiefen entweder sehr gut und sehr ausdauernd tarieren können, oder was im allgemeinen sicherer und auch einem geübten Taucher sehr zu empfehlen ist, eine Ankerkette oder einen Felsen als Tarierhilfe haben.

Rechenprinzip für die Prozedur auf der folgenden Seite:

Der folgende Abschnitt gibt nur einen rechnerischen Überblick und wird bei der praktischen Anwendung der Prozedur auf der folgenden Seite nicht gebraucht.

Gesamtgasmengenverbrauch durch Einlegen von z.B. zwei Dekostops:



Berechne die, in der Grundzeit t , verbrauchte Gasmenge:

$$G = p \cdot t \cdot \text{AMV}$$



Betrachte und berechne Dekostufen wie Minitauchgänge:

$$G_{D1} = p_{D1} \cdot t_{D1} \cdot \text{AMV}$$



Dekostufen $D1$ und $D2$

$$G_{D2} = p_{D2} \cdot t_{D2} \cdot \text{AMV}$$

Addiere die Einzelgasmengen zum Gesamtverbrauch auf:

$$G_{\text{ver}} = G + G_{D1} + G_{D2}$$

$$G_{\text{ver}} = p \cdot t \cdot \text{AMV} + p_{D1} \cdot t_{D1} \cdot \text{AMV} + p_{D2} \cdot t_{D2} \cdot \text{AMV}$$

$$G_{\text{ver}} = (p \cdot t + p_{D1} \cdot t_{D1} + p_{D2} \cdot t_{D2}) \cdot \text{AMV}$$



Den Faktor vor dem geatmeten Volumen pro Minute kann man, unabhängig von den Tauchgangsdaten, für jedes Dekompressionsprofil der Dekompressionstabelle berechnen. Dieser Faktor ist in einer Spalte unter dem Namen g in den Tabellen eingetragen. Er ist anschaulich so etwas wie ein um das Atemminutenvolumen reduzierter Gesamtverbrauch. Der Zahlenwert beschreibt den Gesamtverbrauch für ein Atemminutenvolumen von 1 l/min. Die Tabellenwerte sind allerdings mit einer verfeinerten Methode (Wannennäherung) berechnet. Diese Methode ist im Anhang kurz beschrieben, sie liefert besonders für größere Tauchtiefen sicherere Ergebnisse.

Beispiel für Tauchgangsabschätzung mit Dekopausen(Wannennäherung)

Situation: Suchtauchgang in einem Unterwassergebiet bis zu 20 m Tiefe, keine schwere Arbeit, die Taucher sind geübt, daher wird ein AMV von weniger als 20 l/min angenommen.

Ausrüstung: pro Taucher zwei 10 l Pressluftflaschen mit 200 bar Doppelpacks (oder Einzelflasche und Zusatzflasche mit Zusatzautomat, diese aber so befestigt daß sie in z.B. 10 m Tiefe von den (angeleiteten?) Tauchern sicher auffindbar und anlegbar).

Wie lange können die Taucher tauchen ?

Flaschendaten - Gasmengenvorrat (Luftvorrat)

gesamtes Volumen der Flaschen $V_{fl} = \text{___ l}$
 Fülldruck $p_{fl} = \text{___ bar}$
 Gasmengenvorrat $G_{fl} = p_{fl} \cdot V_{fl} = \text{___ barl}$
 Reserverluft abziehen, z.B. 400 bar
 $G_{fl} = \text{___ barl (3600 bar)}$

Tauchgangsdaten - verbrauchte Gasmenge (Luftbedarf) beim Atmen unter Wasser

geatmetes Volumen pro Zeiteinheit AMV = ___ l/min
 geplante maximale Tauchtiefe ___ m

$$G_{ver} = g \cdot AMV$$

Die verbrauchte Gasmenge (Luftbedarf) muß kleiner sein als der Gasmengenvorrat (Luftvorrat)

löse nach der Unbekannten g:

$$G_{ver} < G_{fl}$$

$$g \cdot AMV < G_{fl}$$

$$g < G_{fl} / AMV = \text{___ barl} / \text{___ l/min} = \text{___ bar min}$$

(180 barmin)

Suche in der Dekompressionstabelle, unter der entsprechenden Tauchtiefe, dasjenige g welches dem berechneten Wert zahlenmäßig von unten am nächsten kommt.

Die so gefundene Zeile gibt die maximale Grundzeit an sowie das notwendige Dekompressionsprofil.

(Lösung:

Austauchtabelle DECO '92 0-700m ü.N.N. mit Zusatzspalte: unter größter Tauchtiefe 21 m und 165 barmin findet man : 48 min Grundzeit und 9 min in 3 m dekomprimieren.

VBG39 mit Zusatzspalte: unter größter Tauchtiefe 21 m und 128 barmin findet man : 40 min Grundzeit und keine Haltezeiten.)

Gerade Wiederholungstauchgänge werden auch ohne zu lange Grundzeit leicht zu Dekompressionstauchgängen! (vgl. Beispiel zu Wiederholungstauchgängen)

Wie kann man sich nun sein Atemminutenvolumen verschaffen? Siehe nächste Seite!

Abschätzung des Atemminutenvolumens einer Person

Wieviel Liter Luft man pro Minute atmet ist, wie einige Seiten vorher schon angedeutet, von verschiedenen Umständen abhängig: Beim Laufen atmet man schneller und tiefer als bei einem Spaziergang. Aufregung, Konstitution, geistige oder körperliche Belastungen wirken sich auch beim Tauchen unterschiedlich auf den Luftverbrauch aus. Beim Tauchen ist allerdings der Luftvorrat begrenzt.

Das Atemminutenvolumen AMV ist also von Person zu Person und von Situation zu Situation verschieden, daher kann man auch hier nur mit Schätz- und Erfahrungswerten arbeiten. Dabei ist es nützlich mit einem eher zu großen als zu kleinem Atemminutenvolumen zu rechnen. Die Überschätzung liefert dann wieder eine Sicherheitsreserve.

Beispielrechnung: Ermitteln eines Atemminutenvolumens

Situation: Ein Taucher taucht mit einer 8 l Flasche. Er macht eine Tarierübung in 10 m Tiefe. Diese dauert 5 min. Am Anfang der Übung zeigte das Finimeter 150 bar. Am Ende der Übung zeigt es 110 bar.

Flaschendaten - (Gasmenge die der Flasche entnommen wurde)

Volumen der Flasche $V_{fl} = \text{___ l}$

Anfangsdruck $P_{fl Anf} = \text{___ bar}$

Enddruck $P_{fl End} = \text{___ bar}$

Die Gasmenge vor dem Beginn der Übung, minus der Gasmenge nach dem Ende der Übung, ergibt die entnommene Gasmenge :

$$G_{entnommen} = (P_{fl Anf} - P_{fl End}) \cdot V_{fl} = (\text{___} - \text{___}) \text{ bar} \cdot \text{___ l} = \text{___ barl} \quad (320 \text{ barl})$$

Tauchgangsdaten - (verbrauchte Gasmenge (Luftbedarf) beim Atmen unter Wasser)

Zeit des Aufenthaltes in der Tauchtiefe $t = \text{___ min}$

Tauchtiefe ___ m liefert Umgebungsdruck $p = \text{___ bar}$

($p = \text{Atmosphärendruck plus ein Bar pro 10m Wassertiefe}$)

geatmetes Volumen pro Zeiteinheit $AMV = ?$

$$G_{ver} = p \cdot t \cdot AMV$$

setze verbrauchte Gasmenge (Luftbedarf) = entnommene Gasmenge

und löse nach dem Atemminutenvolumen:

$$G_{ver} = G_{entnommen}$$

$$p \cdot t \cdot AMV = G_{entnommen}$$

$$AMV = G_{entnommen} / p \cdot t = \text{___ barl} / (\text{___ bar} \cdot \text{___ min}) = \text{___ l/min}$$

(32 l/min)

Die wichtigsten Einflüsse die das geatmete Luftvolumen pro Minute erhöhen, sind:

- Verunsicherung, Aufregung (neuer Tauchpartner, - Gewässer, - Ausrüstungsgegenstände)
- Bewegung, körperliche Belastung (z.B. Flossenschlag beim Kompassstauchgang)
- Frieren, Unterkühlung

Erfahrungswerte für Atemminutenvolumina sind: 10-20 l/min für geübte Taucher in Ruhe, 20-35 l/min und mehr für Anfänger. Unter den vorher erwähnten Einflüssen können sich diese Werte verdoppeln oder verdreifachen. Frauen haben im allgemeinen ein geringeres Atemminutenvolumen als Männer.

Um die Abschätzungen nutzbringend anwenden zu können, sollte man sein Atemminutenvolumen in unterschiedlichen Situationen unter Wasser gut kennen! Gerade bei Dekompressionstauchgängen braucht man sich nicht zu scheuen, den Tauchgang sogar noch innerhalb der Nullzeit abzubrechen, wenn etwas unplanmäßig verläuft. Unvorhergesehenes ändert im allgemeinen das Atemminutenvolumen! Es ist sicherlich auch beruhigend wenn man solche Tauchgänge mit etwas mehr Luftreserve durchführt als notwendig.

Die hier vorgestellten Rechenprozeduren zeigen nur Freiheiten und Grenzen beim Tauchen, die rechnerisch erfassbar sind. Die Durchführung des Tauchganges bleibt der Erfahrung und Vorsicht des jeweiligen Tauchers oder Tauchgruppe überlassen.

Nochmals einige häufig benutzte Begriffe:

Grundzeit : Gerechnet vom Beginn des Abtauchens: Die Zeit die man sich unter Wasser befindet, bis man sich entscheidet aufzutauchen.

Nullzeit : Gerechnet vom Beginn des Abtauchens: Entscheidet man sich innerhalb dieses Zeitraumes aufzutauchen, so braucht man keine Dekompressionspausen. Die Nullzeit ist abhängig von der maximalen Tauchtiefe.

Dekompressionspause : Man legt beim Auftauchen eine Dekompressionspause ein, wenn man den Aufstieg in einer bestimmten Tiefe (etwa 3,6,9 m) stoppt und dort eine Weile wartet.

Gasmenge : Der Anschauung entsprechend, Menge eines Gases, beschreibbar durch eine Maßzahl G. Wenn die Menge des Gases ein Volumen V und ein Druck p hat, so hat ihre Maßzahl den Wert $G=p \cdot V$.

Atemminutenvolumen : geatmetes Volumen pro Minute. Anschaulich: Das Volumen Luft (in Litern) welches man innerhalb einer Minute einatmet.

Literatur: O.F.Ehm, Tauchen noch sicherer!

Anhang

Der Anhang enthält Tabellen und einen Zusatz:

- Wannennäherung statt Rechtecksnäherung
- Dekompressionstabellen der Unfallverhütungsvorschrift "Taucherarbeiten" (VBG 39)

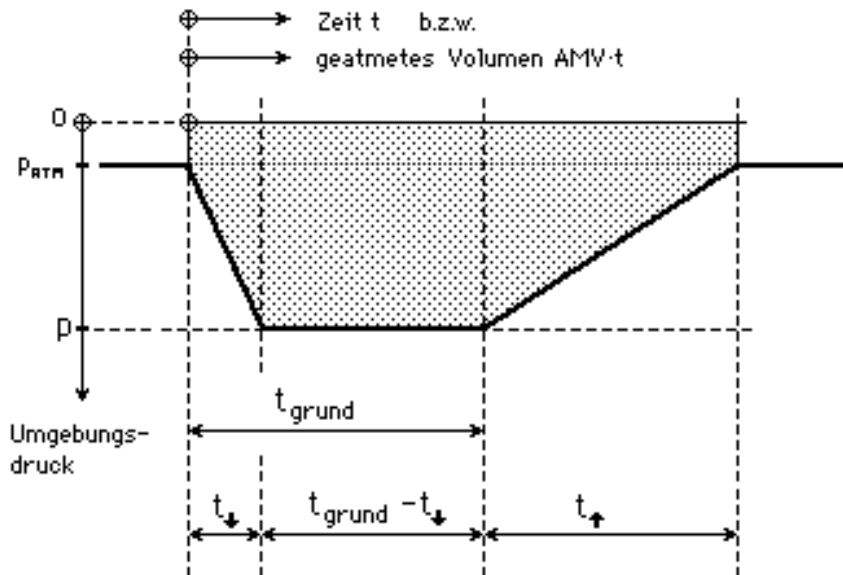
Die Dekompressionstabellen sind jeweils mit einer Zusatzspalte versehen. Der Wert dieser Spalte, multipliziert mit dem erwarteten Atemminutenvolumen, ergibt die verbrauchte Atemgasmenge für den gesamten Tauchgang (incl. Dekopausen). Dies ermöglicht eine schnellere Abschätzung der maximalen Grundzeit.

Leider war es nicht möglich die DECO'92 Tabellen mit der Zusatzspalte an dieser Stelle zu veröffentlichen.

Wannennäherung statt Rechtecksnäherung

Die Rechtecksnäherungen sind ungenau, besonders wenn sich zusätzlich die Ab- und Auftauchgeschwindigkeiten unterscheiden! Dies wirkt sich bei größeren Tauchtiefen merkbar aus. Die Ungenauigkeit verstärkt sich nochmals zuungunsten der Tauchsicherheit wenn, was im allgemeinen der Fall ist, die Abtauchgeschwindigkeit größer als die Auftauchgeschwindigkeit ist. Auch daher wurden die Tabellenwerte mit einer genaueren Methode berechnet, die im folgenden kurz skizziert ist:

Zunächst wird der Gasmengenverbrauch für ein Tauchprofil in Wannenförmigkeit hergeleitet.



t_{grund} Grundzeit;

t_{\downarrow} Abtauchzeit, entspricht t mit dem Index Pfeil nach unten in der obigen Grafik;

t_{\uparrow} Auftauchzeit, entspricht t mit dem Index Pfeil nach oben in der obigen Grafik;

p_{ATM} Atmosphärendruck

p Umgebungsdruck in der maximalen Tauchtiefe

v_{\downarrow} Abtauchgeschwindigkeit (48 m/min);

v_{\uparrow} Auftauchgeschwindigkeit (10 m/min)

Multipliziert man die Zeit mit dem Atemminutenvolumen so steht auf der waagerechten Achse das geatmete Volumen in der betrachteten Zeit. Dann entsprechen Flächenelemente der Grafik Gasmengenelementen, siehe dazu die Graphik auf Seite 9.

Betrachtet man das größte einschließende Rechteck des schraffierten Bereiches, und zieht den ungeschraffierten Bereich⁵ ab, so entnimmt man der Graphik:

$$G_{\text{wanne}} / \text{AMV} = p \cdot (t_{\text{grund}} + t_{\uparrow}) - (p - p_{\text{ATM}}) \cdot (t_{\downarrow} + t_{\uparrow}) / 2$$

⁵ Der Divisor zwei ergibt sich weil die Rechtecksfläche $(p - p_{\text{ATM}}) \cdot \text{AMV} \cdot t_{\downarrow}$ halbiert wird (Fläche eines Dreiecks), um den Gasmengenverbrauch beim Abstieg zu erhalten. Gleiches gilt für den Gasmengenverbrauch beim Aufstieg.

Auf der letzten Seite wurde der folgende Ausdruck für den Verbrauch an Atemluft hergeleitet:

$$G_{\text{wanne}} / \text{AMV} = p \cdot (t_{\text{grund}} + t_{\wedge}) - (p - p_{\text{ATM}}) \cdot (t_{\bullet} + t_{\wedge}) / 2$$

Vergleich zur Rechtecksnäherung:

Aus der Graphik auf Seite 10 erkennt man die erste Ungenauigkeit, die man bei der einfachsten Rechtecksnäherung macht: Man vernachlässigt den Teil der durch "Ecke fehlt" markiert ist.

Abweichend von der Rechtecksnäherung $G_{\text{ver}} / \text{AMV} = p \cdot t_{\text{grund}}$, lautet die obige Formel für den Fall $t_{\bullet} = t_{\wedge}$ (auf Seite 10 als Wannennäherung bezeichnet):

$$G_{t_{\bullet} = t_{\wedge}} / \text{AMV} = p \cdot t_{\text{grund}} + p_{\text{ATM}} \cdot t_{\wedge} \quad (\text{Näherung für } t_{\bullet} = t_{\wedge}).$$

Vergleich von Näherung für $t_{\bullet} = t_{\wedge}$ und Wannennäherung:

Die wannengenäherte Verbrauchsformel ist passend umgestellt:

$$G_{\text{wanne}} / \text{AMV} = p \cdot t_{\text{grund}} + p_{\text{ATM}} \cdot t_{\wedge} + (p - p_{\text{ATM}}) \cdot (t_{\wedge} - t_{\bullet}) / 2$$

Man erkennt

$$G_{\text{wanne}} / \text{AMV} = G_{t_{\bullet} = t_{\wedge}} / \text{AMV} + (p - p_{\text{ATM}}) \cdot (t_{\wedge} - t_{\bullet}) / 2$$

Im allgemeinen taucht man langsamer auf als man abtaucht d.h. $t_{\wedge} > t_{\bullet}$, damit wird der Korrekturterm positiv, was bedeutet das selbst die Näherung für $t_{\bullet} = t_{\wedge}$ den Verbrauch unterschätzt.

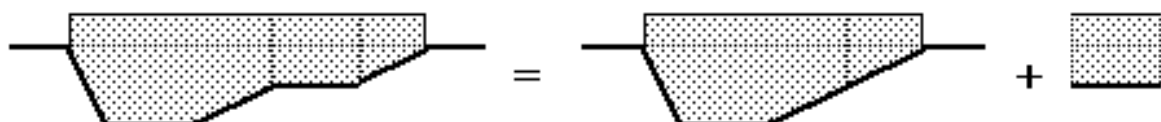
Solange man keine besonders tiefen Tauchgänge macht, stört dies in der Praxis nicht. Denn die Ungenauigkeit wird mehr als ausgeglichen, durch die nicht immer maximale Tauchtiefe, das nicht immer maximale Atemminutenvolumen und den Reserveluftvorrat.

Im folgenden wird noch die maximale Tauchtiefe Tt genannt. Ist sie erreicht, so herrscht der Umgebungsdruck p .

Da $t_{\bullet} \cdot v_{\bullet} = Tt = t_{\wedge} \cdot v_{\wedge}$ ergibt sich in in Abhängigkeit von den Abstiegs- und Aufstiegsge-
schwindigkeiten :

$$G_{\text{wanne}} / \text{AMV} = p \cdot (t_{\text{grund}} + Tt/v_{\wedge}) - (p - p_{\text{ATM}}) \cdot Tt \cdot (1/v_{\bullet} + 1/v_{\wedge}) / 2$$

Die folgende Graphik zeigt das der Gasmengenverbrauch beim Einlegen von Dekompressionspausen einfach durch Addition des Verbrauches zusätzlicher Rechtecksprofile ermittelt werden kann:



Gleichheit und Addition bezüglich dem Gasmengenverbrauch

Die Tabellenwerte für den, um das Atemminutenvolumen reduzierten, Gesamtverbrauch g sind nach dieser Methode berechnet.

Dekompressionstabelle aus der Unfallverhütungsvorschrift "Taucherarbeiten" (VBG 39)

1 Größte Tauchtiefe (Meter)	g (barmin)	2 Tauchzeit vom Verlassen der Oberfläche bis zum Beginn des Austauchens (Minuten)	3 Haltezeiten (Minuten) während des Austauschens auf den Austauschstufen							4 Gesamtzeit für das Austauschen (Minuten)	5 Verbrauch (cbm) für ein AMV von 20 l/min	6 Verbrauch (cbm) für ein AMV von 40 l/min
			24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m			
10			keine Beschränkung							1		
12	301	135							1	7	13	
	374	155						5	6	8	16	
	447	195						10	10	9	18	
	519	225						15	15	11	21	
	592	255						20	20	12	24	
	755	300						25	25	16	31	
	904	390						30	30	19	37	
	1508	680						35	35	31	61	
		über 660						40	40			
15	216	85							1	5	9	
	273	105						5	6	6	11	
	317	120						10	10	7	13	
	361	135						15	15	8	16	
	393	145						20	20	8	16	
	437	160						25	25	9	18	
	471	170					5	25	30	10	19	
	527	190					5	30	35	11	22	
	674	240					10	40	50	14	27	
	1008	360					30	40	70	21	41	
	1242	450					35	40	75	25	50	
		über 450					35	45	80			
18	172	60							1	4	7	
	207	70						5	5	5	9	
	243	80					5	5	10	5	10	
	277	90					5	10	15	6	12	
	312	100					5	15	20	7	13	
	347	110					5	20	25	7	14	
	382	120					5	25	30	8	16	
	416	130					5	30	35	9	17	
	452	140					10	30	40	10	19	
	484	150					10	40	50	10	20	
	530	160					15	40	55	11	22	
	594	180					20	40	60	12	24	
	676	200					5	30	40	14	28	
	855	255					10	35	45	18	35	
	1079	325					20	40	45	22	44	
	1586	495					35	40	45	52	64	
		über 495					35	40	50	125		
21	128	40							2	3	6	
	132	55						5	6	4	8	
	205	60					5	5	10	5	9	
	243	70					5	10	15	5	10	
	265	75					5	15	20	6	11	
	303	85					5	20	25	7	13	
	325	90					5	25	30	7	13	
	350	95					5	5	25	8	15	
	394	105					5	5	35	8	16	
	456	120					5	10	40	10	19	
	525	135					5	20	45	11	22	
	568	150					5	30	45	12	24	
	651	165					10	30	50	14	27	
	715	180					15	35	50	15	29	
	836	210					25	40	50	17	34	
	950	240					5	30	40	50	125	

Man beachte die Bemerkungen in der VBG 39 zur Benutzung dieser Tabelle!

Für Schäden jeglicher Art, die durch die Tabellenbenutzung entstehen, können die Autoren nicht haftbar gemacht werden.

1 Größe Tauchtiefe (Meter)	2 g (barmin)	3 Tauchzeit vom Verlassen der Oberfläche bis zum Beginn des Austauchens (Minuten)	4 Haltezeiten (Minuten) während des Austauschens auf den Austauschstufen							5 Gesamtzeit für das Austauschen (Minuten)	6 Verbrauch (cbm) für ein AMV von 20 l/min	7 Verbrauch (cbm) für ein AMV von 40 l/min										
			24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m				3m									
24	107	30								2	3	5										
	148	40							5	5	3	6										
	190	50							5	5	10	4	8									
	214	55							5	10	15	5	9									
	237	60							5	15	20	5	10									
	276	70							5	20	25	6	12									
	302	75							5	25	30	7	13									
	335	80							5	30	40	7	14									
	384	90							5	10	35	50	8	16								
	457	105							5	20	40	65	10	19								
	542	120							5	5	30	45	85	11	22							
635	140							5	10	35	50	100	13	26								
761	160							10	30	40	50	130	16	31								
27	98	25									2	2	4									
	124	30									5	5	3	5								
	169	40									5	5	10	4	7							
	194	45									5	10	15	4	8							
	219	50									5	15	20	5	9							
	244	55									5	20	25	5	10							
	272	60									5	5	20	30	6	11						
	297	65									5	5	25	35	6	12						
	331	70									5	10	30	45	7	14						
	357	75									5	15	30	50	8	15						
	390	80									5	20	35	60	8	16						
	442	90									5	25	40	70	9	18						
	494	100									5	30	45	80	10	20						
	569	110									5	15	35	45	100	12	23					
	623	120									5	20	35	50	110	13	25					
	709	135									5	5	25	40	50	125	15	29				
794	150									5	10	35	40	50	140	16	32					
30	87	20											2	2	4							
	113	25											5	5	3	5						
	142	30											5	5	10	3	6					
	168	35											5	10	15	4	7					
	195	40											5	15	20	4	8					
	222	45											5	20	25	5	9					
	251	50											5	5	20	30	6	11				
	278	55											5	5	25	35	6	12				
	312	60											5	10	30	45	7	13				
	375	70											5	20	35	60	8	16				
	402	75											5	20	40	65	9	17				
	449	80											5	5	30	40	80	9	18			
	515	90											5	15	30	45	95	11	21			
	609	105											5	25	55	60	115	13	25			
710	120											5	10	30	40	50	135	15	29			
33	81	17													2	2	4					
	100	20													5	5	3	5				
	130	25													5	5	10	3	6			
	158	30													5	10	15	4	7			
	186	35													5	15	20	4	8			
	215	40													5	20	25	5	9			
	246	45													5	5	20	30	5	10		
	282	50													5	10	25	40	6	12		
	318	55													5	15	30	50	7	13		
	354	60													5	20	35	60	8	15		
	382	65													5	20	40	65	8	16		
	431	70													5	10	20	45	80	9	18	
	470	75													5	15	25	45	90	10	19	
	510	80													5	20	30	45	100	11	21	
	581	90													5	5	20	40	45	115	12	24
	652	100													5	10	25	40	50	130	14	27
	735	110													5	20	30	45	50	150	15	30
	822	120													5	5	25	40	45	50	170	17

Man beachte die Bemerkungen in der VBG 39 zur Benutzung dieser Tabelle !

Für Schäden jeglicher Art, die durch die Tabellenbenutzung entstehen, können die Autoren nicht haftbar gemacht werden.

Dekompressionstabelle aus der Unfallverhütungsvorschrift "Taucherarbeiten" (VBG 39)

1	2	3								4	5	6					
		Haltezeiten (Minuten) während des Austauchens auf den Austauchstufen															
Größe Tauchtiefe (Meter)	g (barmin)	Tauchzeit vom Verlassen der Oberfläche bis zum Beginn des Austauchens (Minuten)	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	Gesamtzeit für das Austauchen (Minuten)	Verbrauch (cbm) für ein AMV von 20 l/min	Verbrauch (cbm) für ein AMV von 40 l/min				
36	73	14									2	2	3				
	108	20							5	5	5	5	5				
	139	25							5	5	10	3	6				
	175	30							5	15	20	4	7				
	205	35							5	20	25	5	9				
	244	40						5	5	25	35	5	10				
	275	45						5	10	25	40	6	11				
	313	50						5	15	30	50	7	13				
	361	55					5	5	20	35	65	8	15				
	409	60					5	10	25	40	80	9	17				
	489	70					5	20	30	45	100	10	20				
	592	75				5	5	20	35	45	110	11	22				
	576	80				5	10	25	35	45	120	12	24				
	657	90				5	15	30	40	50	140	14	27				
746	100			5	5	20	35	45	50	160	15	30					
838	110			5	15	25	40	45	50	180	17	34					
919	120			5	20	35	40	45	50	195	19	37					
39	64	11									3	2	3				
	90	15							5	5	5	2	4				
	123	20							5	5	10	3	5				
	154	25							5	10	15	4	7				
	192	30							5	20	25	4	8				
	216	35							5	20	25	5	9				
	265	40						5	10	25	40	6	11				
	315	45					5	5	15	30	55	7	13				
	354	50					5	5	20	35	65	8	15				
	403	55					5	10	25	40	80	9	17				
	452	60					5	15	30	45	95	10	19				
	541	70					5	10	20	30	60	11	22				
	602	75					5	15	25	40	50	13	25				
	656	80					5	20	30	45	60	14	27				
749	90			5	5	25	40	45	50	170	15	30					
850	100			5	5	15	30	40	45	50	17	34					
948	110			5	10	25	30	45	45	50	19	38					
1046	120			5	15	30	40	45	45	50	21	42					
42	58	9									3	2	3				
	79	10							5	5	5	2	3				
	104	15							5	5	10	3	5				
	137	20							5	10	15	3	6				
	169	25							5	15	20	4	7				
	212	30							5	5	20	5	9				
	252	35							5	10	25	6	11				
	304	40							5	15	30	7	13				
	346	45							5	10	15	7	14				
	396	50							5	15	20	8	16				
	450	55							5	5	15	25	45	9	18		
	501	60							5	5	20	35	45	110	11	21	
	556	65							5	10	25	40	45	125	12	23	
	610	70							5	15	30	40	50	140	13	25	
678	75							5	5	20	35	45	50	160	14	28	
717	80							5	10	20	35	45	50	165	15	29	
776	85							5	15	25	40	45	50	180	16	32	
879	95							5	5	20	35	40	45	50	200	18	35
981	105							5	15	25	35	45	45	50	220	20	40
1083	115							5	20	35	40	45	50	240	22	44	

Man beachte die Bemerkungen in der VBG 39 zur Benutzung dieser Tabelle!

Für Schäden jeglicher Art, die durch die Tabellenbenutzung entstehen, können die Autoren nicht haftbar gemacht werden.

Dekompressionstabelle aus der Unfallverhütungsvorschrift "Taucherarbeiten" (VBG 39)

1	2	3								4	5	6	
		Haltezeiten (Minuten) während des Austauschs auf den Austauschstufen											
Größte Tauchtiefe (Meter)	g (barmin)	Tauchzeit vom Verlassen der Oberfläche bis zum Beginn des Austauschens (Minuten)	24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m	3m	Gesamtzeit für das Austauschen (Minuten)	Verbrauch (cbm) für ein AMV von 20 l/min	Verbrauch (cbm) für ein AMV von 40 l/min
			45	57	8								
	74	10								5	2	3	
	110	15							5	5	10	3	5
	151	20							5	15	20	4	7
	194	25						5	5	20	30	4	8
	237	30						5	5	10	25	5	10
	282	35					5	5	10	30	50	6	12
	333	40					5	10	15	35	65	7	14
	385	45					5	15	20	40	80	8	16
	440	50			5	5	15	25	45	95	9	18	
	503	55			5	10	20	30	50	115	11	21	
	569	60			5	15	25	35	50	130	12	23	
	618	65		5	5	15	30	40	50	145	13	25	
	678	70		5	10	20	30	45	50	160	14	28	
	738	75		5	15	25	35	45	50	175	15	30	
	815	80		5	5	20	30	40	45	195	17	33	
	880	85		5	10	25	35	40	45	210	18	36	
	955	90		5	15	30	40	45	50	230	20	39	
48	87	10							5	5	10	2	4
	122	15							5	10	15	3	5
	168	20						5	5	15	25	4	7
	211	25						5	10	20	35	5	9
	258	30					5	5	10	25	45	6	11
	311	35					5	10	15	30	60	7	13
	362	40					5	10	20	40	75	8	15
	427	45				5	5	15	25	45	95	9	16
	485	50				5	10	20	30	45	110	10	20
	551	55				5	15	25	40	45	130	12	23
	612	60			5	5	20	25	40	50	145	13	25
	681	65			5	10	20	35	45	50	165	14	28
	743	70			5	15	25	40	45	50	180	15	30
	811	75			5	5	20	30	40	45	195	17	33
	878	80			5	10	25	35	40	45	210	18	36
	954	85			5	15	30	40	45	50	230	20	39
50	90	10							5	5	10	2	4
	128	15							5	10	15	3	5
	173	20						5	5	15	25	4	7
	224	25						5	10	25	40	5	9
	280	30					5	5	15	30	55	6	12
	334	35					5	10	20	35	70	7	14
	394	40				5	5	15	25	35	85	8	16
	459	45				5	10	20	30	40	105	10	19
	528	50			5	5	10	25	35	45	125	11	22
	593	55			5	5	15	30	40	50	145	12	24
	664	60			5	10	20	35	45	50	165	14	27
	734	65			5	5	15	25	35	45	180	15	30
	798	70			5	10	15	30	40	45	195	16	32
	870	75			5	15	20	35	45	45	215	18	36
	953	80			5	5	20	25	40	45	230	20	39

Man beachte die Bemerkungen in der VBG 39 zur Benutzung dieser Tabelle!

Für Schäden jeglicher Art, die durch die Tabellenbenutzung entstehen, können die Autoren nicht haftbar gemacht werden.

1	2	3	3							4	5	6	
			Haltezeiten (Minuten) während des Austauschs auf den Austauschstufen										
Größe Tauchtiefe (Meter)	g (barmin)	Tauchzeit vom Verlassen der Oberfläche bis zum Beginn des Austauschs (Minuten)								Gesamtzeit für das Austauschen (Minuten)	Verbrauch (cbm) für ein AMV von 20 l/min	Verbrauch (cbm) für ein AMV von 40 l/min	
			24m	21m	18m	15m	12m	9m	6m				3m
54	96	10							5	5	10	2	4
	144	15							5	5	10	3	6
	191	20							5	10	15	4	8
	247	25						5	5	10	25	5	10
	310	30						5	10	15	35	7	13
	379	35				5	5	15	20	40	65	8	16
	446	40				5	10	20	25	45	105	9	18
	518	45			5	5	10	25	35	45	125	11	21
	585	50			5	5	15	30	40	50	145	12	24
	658	55			5	10	20	35	45	50	185	14	27
	739	60		5	5	15	25	40	45	50	185	15	30
	809	65		5	10	20	30	40	45	50	200	17	33
	888	70		5	15	25	35	45	45	50	220	18	36
975	75		5	5	20	30	40	45	50	240	20	40	
57	100	10							5	5	10	3	5
	147	15							5	5	15	4	7
	205	20							5	10	20	5	9
	264	25						5	5	15	25	6	11
	341	30				5	5	10	20	35	75	7	14
	419	35				5	5	15	30	45	100	8	17
	490	40			5	5	10	20	35	45	120	10	20
	559	45			5	5	15	25	40	50	140	12	23
	633	50			5	10	20	30	45	50	160	13	26
	716	55			5	5	15	25	35	45	180	15	29
	797	60			5	10	20	30	40	45	200	16	32
	880	65		5	5	10	25	35	45	45	220	18	36
	967	70		5	10	15	30	40	45	50	240	20	39
60	112	10							5	5	10	3	5
	160	15							5	5	15	4	7
	224	20						5	5	10	20	5	9
	276	25						5	10	15	20	6	12
	368	30				5	5	15	20	40	85	8	15
	446	35				5	10	20	30	45	110	9	18
	532	40			5	5	15	25	40	45	135	11	22
	615	45			5	10	20	30	45	50	160	13	25
	699	50			5	5	15	25	35	45	180	14	28
	781	55			5	10	20	30	40	45	200	16	32
	867	60		5	5	10	25	35	45	45	220	18	35
	955	65		5	10	15	30	40	45	45	240	20	39

G= g AMV wobei

G gesamte verbrauchte Luftmenge
für das betrachtete Tauchprofil

g Wert aus der Zusatzspalte

AMV Atemminutenvolumen

Wannennäherung : Abtauchgeschwindigkeit: 48 m/min Atmosphärendruck: 1,01325 bar

Auftauchgeschwindigkeit: 10 m/min

Man beachte die Bemerkungen in der VRG 39 zur Benutzung dieser Tabelle !

Für Schäden jeglicher Art, die durch die Tabellenbenutzung entstehen, können die Autoren nicht haftbar gemacht werden.

Bemerkung:

Eine 10l-Tauchflasche mit 200bar Druck enthält 2cbm Luft.

Damit kann man aus den beiden letzten Spalten sofort die Mindestanzahl der benötigten Tauchflaschen entnehmen.

(Die Werte dieser beiden Spalten sind konsequent aufgerundet !)

Ein Auszug dieser Dekotabelle ist auch in der GU 10.7 abgedruckt.

Bezugsquelle: zuständiger Unfallversicherungsträger bzw. Carl Heymanns Verlag KG, Luxemburger Straße 449, 5000 Köln 41