

Planung und Tauchcomputer können auch zusammenpassen

Bühlmann ermöglichte mit seinem ZH-L16 System Tabellen und Tauchcomputer für Seen über 2500 m Seehöhe. Die Erprobung erfolgte unter anderem im Titicacasee. Aufgrund der geringen erforderlichen Rechenleistung wird dieses Gewebemodell heute in allen Tauchcomputern verwendet. Die einzelnen Computerhersteller versuchen sich voneinander abzugrenzen. Sie verwenden daher unterschiedliche konservative Abänderungen, angefangen von Sicherheitszuschlägen über Höhenbereiche bis zu Gradientenfaktoren. Wie sich die Änderungen auswirken, zeigen die folgenden anerkannten Dekotabellen, die ja auch mit abgeänderter Software berechnet wurden. Die unterschiedlichen Dekozeiten kommen nicht zustande, weil sich die Modellgewebe unterscheiden, sondern nur, weil jedes Mal konservativer gerechnet wurde.

Tauchgang 33 m, 30 min	Dekovorschrift	Tiefster Stopp	Besonderheiten
Die aktuelle CMAS Tabelle	7 J = 7 min	3 m	Keinerlei Sicherheitszuschläge
TDI Formal-Dekompression	4 + 11 G = 15 min	6 m	Höhenbereich, Tiefe + 3 % + 1 m
DECO92 0-700 m	1 + 6 + 13 G = 20 min	9 m	Abgeänderter Höhenbereich

Tauchgangsplanung und Tauchcomputer passen zusammen, wenn eine Tabelle verwendet wird, die gleich konservativ rechnet, wie der verwendete Tauchcomputer. Die Unterschiede der Tabellen sind jedoch so groß, dass überdacht werden muss, ob sie noch zur Sicherheit beitragen oder schon zur Ablehnung führen. Übereinstimmung kann nur mit ZH-L16 Software und gleichen Grundzeiten erreicht werden. Anstatt die Dekozeiten für eine Reihe von beliebigen Grundzeiten anzugeben, lässt sich nach dem **Vorbild von luftintegrierten Computern** die „erreichbare Grundzeit“ berechnen, also die Zeit, die ein durchschnittlicher Taucher in der geplanten Tiefe mit der gewählten Flasche erreicht.

Luftintegrierte Computer messen seit 25 Jahren nicht nur den *Umgebungsdruck = Druck der Atemluft*, sondern auch den *Druckverbrauch = zeitliche Änderung des Flaschendrucks*. Die Software berechnet aus dem Umgebungsdruck die **Tiefe** und aus dem Druckverbrauch die „**verbleibende Grundzeit**“ (**Remaining Bottom Time = RBT**), mit welcher wiederum die erforderlichen **Dekostops** berechnet werden. Luftintegrierte Computer messen Drücke und berechnen daraus, wie der Flaschendruck auf Grundzeit und Aufstieg aufgeteilt wird.

Der Flaschendruck ist für alle Flaschen gleich. Mit großen Tauchflaschen werden längere Grundzeiten erreicht, als mit kleinen. Lange Grundzeiten erfordern lange Dekozeiten. ZH-L16 stellt die Gesetzmäßigkeit dar, wie der vorhandene Flaschendruck auf Grundzeit und Aufstieg aufgeteilt wird. Die Grundzeit lässt sich nicht beliebig verlängern, weil für die Dekompression Luft übrigbleiben muss und weil die Luft am Ende beim gedachten Totalausfall einer Luftversorgung für den gemeinsamen Aufstieg von 2 Tauchern reichen muss.



Ein Dekoprofil zeigt, wie die mitgeführte **Atemluft** in der gewählten Tiefe **auf Grundzeit und Dekostops aufgeteilt** wird.

Als wesentliche Bestandteile der „Dekompression“ unter Wasser kommen dazu der Aufstieg vom Grund zur Oberfläche und seit einigen Jahren der tiefe Sicherheitsstopp von DAN.

Die traditionelle Tauchgangsplanung rechnet mit Litern „atmosphärischer“ Luft und versucht zu einem möglichst konservativen Ergebnis zu kommen. Dass die Luft auf Grundzeit und Aufstieg aufgeteilt wird, ist dabei nicht erkennbar.

Rechnet man hingegen mit Drücken (wie luftintegrierte Tauchcomputer), so findet man eine überraschende Übereinstimmung.

Planung und Tauchcomputer können auch zusammenpassen

Zunächst wird der „traditionelle Luftbedarf“ für 5 Grundzeiten in 40 m Tiefe berechnet:

Tiefe = 40 m	Erreichte Grundzeit =	12	14	18	24	29	min
ZH-L16 Software 1000 mbar	Deko in 9 m	--	--	--	1	3	min
	Deko in 6 m	--	1	3	6	7	min
	Deko in 3 m	3	4	6	9	16	min
Dekostopps 16 Liter/min	Dekogas für 9 m	--	--	--	30.4	91.2	Liter
	Dekogas für 6 m	--	25.6	76.8	153.6	179.2	Liter
	Dekogas für 3 m	62.4	83.2	124.8	187.2	332.8	Liter
15 m, 3 min	Tiefer Stopp von DAN	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	Liter
Mittlere Tiefe = 20 m	Aufstieg mit 10 m/min	192.0	192.0	192.0	192.0	192.0	Liter
Verbrauchtes Luftvolumen für Aufstieg + Deko =		374.4	420.8	513.6	683.2	915.2	Liter

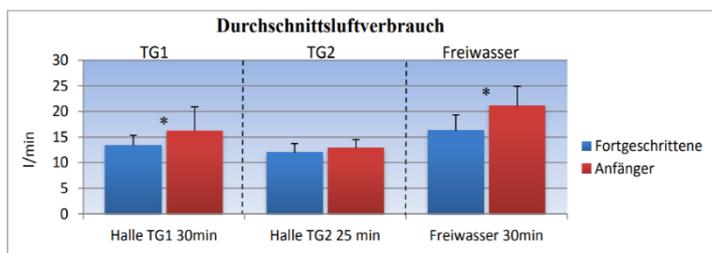
Die Luft erzeugt in der verwendeten Tauchflasche einen Druck, der in „bar“ gemessen wird:

Flaschendruck = Luftdruck × Luftvolumen / Flaschenvolumen = 1 bar × 513.6 Liter / 15 Liter = 34 bar

Volumen der verwendeten Tauchflasche	10	12	15	20	24	Liter
Verbrauchter Druck für Aufstieg + Deko =	37	35	34	34	38	bar

Sobald man mit messbaren Drücken rechnet, sieht man, dass der Druck für Aufstieg + Deko für alle Flaschen nahezu gleich ist. Sind die traditionellen Berechnungen noch notwendig?

Was erscheint für die Tauchgangsplanung wichtig?



2013 wurde an der Universität Kiel der **Luftverbrauch** von Tauchern gemessen. In der Folge wird daher bei mittlerer körperlicher Anstrengung am Grund mit 20 Liter/min gerechnet und beim kontrollierten Aufstieg + Dekompression mit 16 Liter/min.

Der Druck in bar für Aufstieg + Deko (34-38 bar) entspricht annähernd der Tiefe in Metern.

Covid hat lang genug gedauert, um diesen Zusammenhang für Flaschen bis 24 Liter und Tiefen bis 50 m rechnerisch zu bestätigen. Für den Aufstieg aus **40 m** braucht ein durchschnittlicher Taucher – wie abgeleitet – weniger als **40 bar**. Der Aufstieg erfolgt jedoch mit **80 bar**, damit die Luft auch für den Partner reicht (100 % Reserve).

232 bar Flaschendruck (die neue Flaschengeneration) ermöglicht längere Grundzeiten.

Der Aufstieg aus 40 m beginnt daher ganz allgemein mit 40 % vom Gesamtdruck.

Der sog. „Umkehrdruck“ aus **40 m** beträgt somit **40 %** von 200 bar Flaschendruck = **80 bar**.

Der sog. „Umkehrdruck“ aus **25 m** beträgt somit **25 %** von 200 bar Flaschendruck = **50 bar**.

Mit **232 bar** Flaschen beträgt der Umkehrdruck aus 25 m = **25 %** von 232 bar = **58 bar**...

Damit nicht gerechnet werden muss, ist eine Tabelle für Flaschen mit 232 bar nützlich.

Die prozentuelle Aufteilung des Flaschendrucks auf Grundzeit und Aufstieg hängt weder von der Flaschengröße noch vom Flaschendruck ab, sondern nur von der Tiefe.

Die Druckaufteilung ist durch das ZH-L16 Dekoprofil vorgegeben.

Luftintegrierte Computer messen den Druckverbrauch:

Druckverbrauch mit der **15 Liter** Flasche in **40 m** Tiefe = 5 bar × 20 Liter/min / 15 Liter = 6.7 bar/min. Der für die Grundzeit verfügbare Druck = 200 bar - **40 %** = 120 bar.

Erreichbare Grundzeit = 120 bar / 6.7 bar/min = **18 min**.

... siehe Tabelle

Verbleibende Grundzeit und aktuelles Dekoprofil werden vom Computer abgelesen.

Planung und Tauchcomputer können auch zusammenpassen

Die „**Luftintegrierte Tauchgangsplanung**“, die hier zur Diskussion steht, orientiert sich an luftintegrierten Tauchcomputern. Anstatt mit dem verbrauchten Luftvolumen wird mit dem verbrauchten Druck gerechnet und der ist für alle 200 bar Flaschen gleich. Grund- und Dekozeiten verändern sich mit der Flaschengröße. Die Aufteilung des Flaschendrucks auf Grundzeit und Aufstieg hängt nur von der Tiefe ab und ist daher für alle Flaschengrößen gleich. Wenn z.B. **33 m Tiefe** geplant wird, beträgt der reservierte Mindestdruck (Umkehrdruck) für den gemeinsamen Aufstieg von 2 Tauchern **33 % vom Flaschendruck**.

Tauchgang 33 m , Tauchflasche mit 200 bar, Meeressniveau	10 Liter Flasche	20 Liter Flasche
33 % reservierter Druck für den Aufstieg von 2 Tauchern =	66 bar	
Verfügbare Druck für die Zeit am Grund = 200 bar – 66 bar =	134 bar	
Druckverbrauch = 4.3 bar × 20 Liter/min / Flaschenvolumen =	8.6 bar/min	4.3 bar/min
Erreichbare Grundzeit = 134 bar / Druckverbrauch =	15 ½ min	31 min
<i>Dekozeit berechnet mit ZH-L16 Software</i> =	3 min	5 + 10 = 15 min
Teildruck für die Dekostopps	6 bar	17 bar
Teildruck für den tiefen Stopp 15 m, 3 min	12 bar	6 bar
Teildruck für den Aufstieg	14 bar	7 bar
Gesamtdruck für den Aufstieg aus 33 m (≤ 33 bar)	32 bar	30 bar
Druck für den gemeinsamen Aufstieg von 2 Tauchern	64 bar	60 bar
Rechnerisch bleibt sogar ein kleiner Rest übrig	66 – 64 = 2 bar	66 – 60 = 6 bar

Bei kleinen Flaschen sind die Dekozeiten kurz, bei großen sind sie lang. Je größer der Luftverbrauch eines Tauchers, umso kürzer sind die erreichbaren Grund- und Dekozeiten. Ein Taucher braucht mit seiner **200 bar** Flasche für den **Aufstieg aus 33 m** nicht mehr als **33 bar** und zwar unabhängig von der Größe der Flasche und unabhängig vom Luftverbrauch des Tauchers. Die Druckaufteilung bleibt gleich, weil sie nur von der Tiefe abhängt.

ZH-L16 Planungstabelle					
200 bar	Liter				NDL
Tiefe ↑	15	12	10	8	
▶ 12	24	60	48	40	–
▶ 14	28	54	43	36	98
▶ 16	32	48	39	32	73
▶ 18	36	44	35	29	51
▶ 20	40	40	32	27	39
▶ 22	44	37	29	24	31
▶ 24	48	34	27	22	25
▶ 26	52	31	25	21	21
▶ 28	56	28	23	19	18
▶ 30	60	26	21	18	16
▶ 32	64	24	19	16	14
▶ 34	68	22	18	15	12
▶ 36	72	21	17	14	11
▶ 38	76	19	16	13	10
▶ 40	80	18	14	12	9
▶ 42	84	17	13	11	8
Meter	bar	Grundzeiten	min		

Die Tabelle orientiert sich an luftintegrierten Tauchcomputern.

In dieser Tabelle wird nicht gerundet, sondern mit Zwischenwerten gerechnet. Eine **10 Liter** Flasche reicht in **32-34 m** Tiefe für **15-16 min** Grundzeit. Wenn keine Komplikationen eintreten und der Aufstieg mit **64-68 bar** beginnt, erreichen die beiden Taucher die Oberfläche mit **32-34 bar**. Der tiefe Stopp ist nicht Teil von Dekotabellen. Beim „Worst Case“ kann er übersprungen werden.

Die Grundzeiten der 20 Liter Flasche müssen nicht eingezeichnet werden, weil sie doppelt so lang sind, wie jene der 10 Liter Flasche. **66 bar** ist also der Mindestdruck, den 2 durchschnittliche Taucher für den gemeinsamen Aufstieg nach einem **33 m** Tauchgang planen. Beginnt der Aufstieg mit einem höheren Druck, so sind die Auswirkungen groß. Grund- und Dekozeit werden kürzer.

Es kann jedenfalls nicht mehr passieren, dass ein Taucher „eine zu kleine Flasche auswählt“.

Tauchgänge in Bergseen und Wiederholungstauchgänge mit Nitrox

Traditionell wird mit Zuschlägen gerechnet, welche berücksichtigen, dass der Druck der in den menschlichen Geweben gelösten Luft vom jeweiligen Luftdruck abweicht. Die Zuschläge erfordern längere Dekozeiten, für welche aber keine Luft vorgesehen ist. Die notwendige Luft wird durch Verkürzung der Grundzeit um 1-2 Minuten bereitgestellt. Kürzere Grundzeiten erfordern weniger Dekozeit, sodass sich die Veränderungen gegenseitig aufheben und vernachlässigt werden können. **Damit entfallen zusätzliche Wiederholungs- und Bergseetabellen.** Die Tabelle wurde für Nitrox erweitert.

Planung und Tauchcomputer können auch zusammenpassen

Ein alltagstaugliches Planungsbeispiel:

ZH-L16 Planungstabelle					
200 bar	Liter				
Tiefe ↑	15	12	10	NDL	
▶ 12	24	60	48	40	—
▶ 14	28	54	43	36	98
▶ 16	32	48	39	32	73
▶ 18	36	44	35	29	51
▶ 20	40	40	32	27	39
▶ 22	44	37	29	24	31
▶ 24	48	34	27	22	25
▶ 26	52	31	25	21	21
▶ 28	56	28	23	19	18
▶ 30	60	26	21	18	16
▶ 32	64	24	19	16	14
▶ 34	68	22	18	15	12
▶ 36	72	21	17	14	11
▶ 38	76	19	16	13	10
▶ 40	80	18	14	12	9
▶ 42	84	17	13	11	8
Meter	bar	Grundzeiten	min		

Ein Grundgewicht in 40 m Tiefe und 1000 m Seehöhe soll überprüft werden. Es werden 15 Liter Flaschen mit 200 bar Pressluft verwendet. Wieviel Zeit steht für die Überprüfung zur Verfügung?

In 1000 m muss länger dekomprimiert werden. Der Druck für die zusätzliche Deko wird durch **Verkürzung der Grundzeit** bereitgestellt, das heißt, der Aufstieg muss im Bergsee mit 10 bar mehr = 90 bar beginnen. Es kann mit 18 min – 2 min = 16 min Grundzeit gerechnet werden. Die Veränderungen heben sich gegenseitig auf:

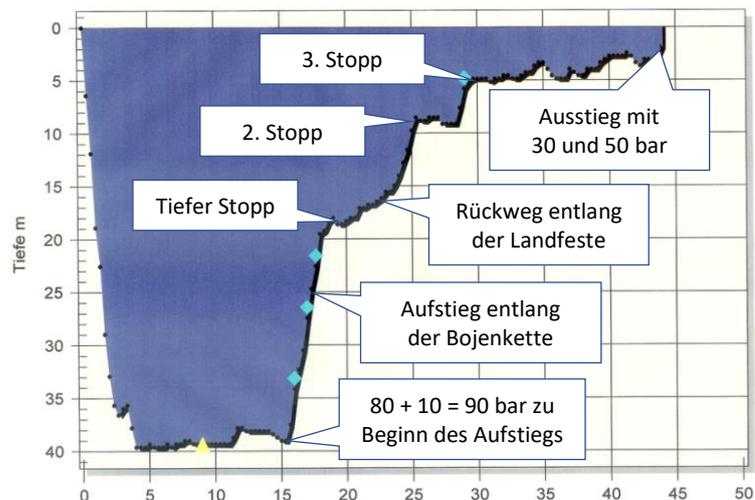
ZHL-16 ProPlanner, Luftdruck auf Meeresniveau = 1000 mbar
 Tauchgang = 40 m, 18 min, Deko = 2 + 7 = 9 min

ZHL-16 ProPlanner, Luftdruck in 1000 m Seehöhe = 900 mbar
 Tauchgang = 40 m, 16 min, Deko = 2 + 7 = 9 min

Praktisches Ergebnis: Einstellung des Computers = A1, P0, (wobei A1 = 300-1500 m). Der Computer berechnet für 40 m, 16 min in 1500 m Seehöhe: Deko = 3 + 7 = 10 min. Dazu rechnet er 4 min Aufstieg aus 40 m und 3 min Sicherheitsstopp. **Aufstiegszeit = 17 min.** Der Aufstieg bis zur 20 m Plattform erfolgt entlang der Bojenkette, Dekompression während der Rückkehr zum Einstieg. Alle Stopps wurden tiefer ausgeführt und verlängert. Ein Teil der Reserveluft wurde am Ende genützt, um Barsche beim Jagen zu beobachten.

Anmerkung:

Bei Verwendung der DECO92 beträgt die abgelesene Dekozeit 2 + 4 + 11 = 17 min. Da die erreichbare Grundzeit mit zunehmender Tiefe immer kürzer wird, kann die Dekozeit nicht über 2 + 7 = 9 min ansteigen. Die Übereinstimmung von Planung und Computer ist daher nicht möglich.



Luftintegrierte Tauchgangsplanung und Tauchcomputer kommen zu gleichen Ergebnissen, weil mit dem gleichen Rechenmodell gleich konservativ gerechnet wird. Der 2007 vorgeschlagene Schritt vom Luftverbrauch zum Druckverbrauch zeigt die linearen Zusammenhänge und ermöglicht dadurch eine veränderte Sichtweise auf die Tauchgangsplanung.



Schön wäre, wenn ich damit eine qualifizierte Diskussion in Gang bringen könnte, denn die Tabelle habe ich für Nitrox in Bergseen entworfen.

Helmut Zauchner, Advanced Nitrox Instructor, CMAS M TNX AUT 10/04