



Tauchgangsplanung – Umkehrdruck

Ausgangsüberlegung

Bei welchem Druck ist spätestens der Aufstieg zu beginnen, damit die Restluft für den Aufstieg einschließlich Austauschpausen und Sicherheitsstopp reicht?

(hier: Versorgung eines Tauchers ohne Probleme)

- Berechnung des erforderlichen Luftvolumens für den Aufstieg einschließlich Austauschpausen (Dekostops) und Sicherheitsstopp.
- In Abhängigkeit der Flaschengröße kann der notwendige Mindestdruck errechnet werden.

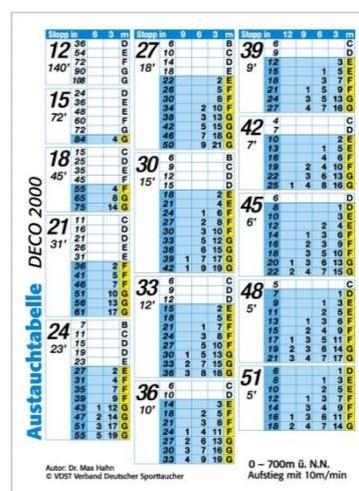
Bei dieser Berechnung wird der Reservedruck nicht mit eingeplant!

Beispiel

Aufstiegsberechnung bei Nullzeittauchgang

Aufstieg aus 40 m Tiefe:

- 4 min bis zur Oberfläche
- 3 min Sicherheitsstopp auf 5 m
- 7 min Gesamtaufstiegszeit

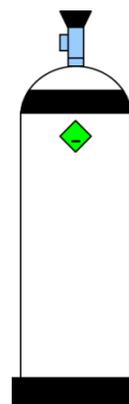


Gasverbrauch beim Aufstieg

Nullzeittauchgang (Atemminutenvolumen: 20 l/min)

Aufstieg aus 40 m Tiefe:

- 4 min x 5 bar x 20 l/min : 1 bar → 400 Liter
- 3 min x 1,5 bar x 20 l/min : 1 bar → 90 Liter
- Gesamtvolumen Aufstieg → 490 Liter**



Notwendiger Mindestdruck bei einer 10 Liter Flasche

Boyle-Mariotte: $p \times V = \text{konstant}$
 → $p_{DTG} \times V_{DTG} = p_{\text{Oberfläche}} \times V_{\text{Oberfläche}}$

Gesucht: Druckdifferenz DTG (p_{DTG})

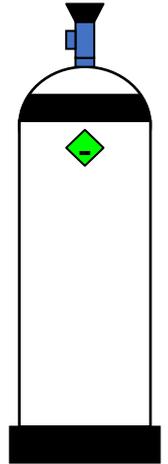
Notweniges Luftvolumen **490 Liter** ($V_{Oberfläche}$)

Volumen DTG = **10 Liter** (V_{DTG})

Umgebungsdruck Oberfläche: **1 bar** ($p_{Oberfläche}$)

$$p_{DTG} = \frac{p_{Oberfläche} \times V_{Oberfläche}}{V_{DTG}} = \frac{1 \text{ bar} \times 490 \text{ l}}{10 \text{ l}} = 49 \text{ bar}$$

Minstdruck: 49 bar + 50 bar = 99 bar



Notwendiger Minstdruck bei verschiedenen Flaschengrößen

Flaschen- größe	Luft- volumen	Druck- differenz	Reserve- druck	Mindest- dest- druck
10 l	490 l	49 bar	+ 50 bar	99 bar
12 l	490 l	41 bar	+ 50 bar	91 bar
14 l (2 x 7 l)	490 l	35 bar	+ 50 bar	85 bar
15 l	490 l	33 bar	+ 50 bar	83 bar
20 l (2 x 10 l)	490 l	25 bar	+ 50 bar	75 bar
24 l (2 x 12 l)	490 l	20 bar	+ 50 bar	70 bar

$$p_{DTG} = \frac{p_{Oberfläche} \times V_{Oberfläche}}{V_{DTG}}$$

Annahme für die Berechnung des Umkehrdrucks

Vollständiger Ausfall des Partner DTG auf 40 m Tiefe (hier: Problem und Versorgung von zwei Tauchern)

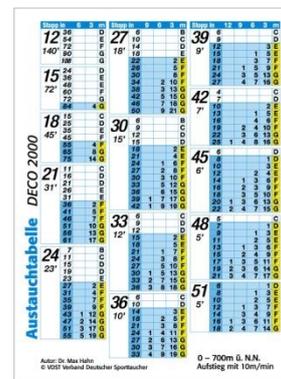
- Berechnung des erforderlichen Luftvolumens für den Aufstieg einschließlich Austauschphasen (Dekostops) und Sicherheitsstopp.
- Berechnung des **Umkehrdrucks** in Abhängigkeit der Flaschengröße.

Ein Reservedruck muss bei diesem Szenario nicht im DTG verbleiben!

Aufstiegsberechnung bei Nullzeittauchgang

Aufstieg aus 40 m Tiefe:

- 1 min Problemlösung
- 4 min bis zur Oberfläche
- 3 min Sicherheitsstopp auf 5 m
- 8 min Gesamtaufstiegszeit**



Gasverbrauch beim Aufstieg: **Nullzeittauchgang**

Atemminutenvolumen: 20 l/min + 20 l/m (Partner)

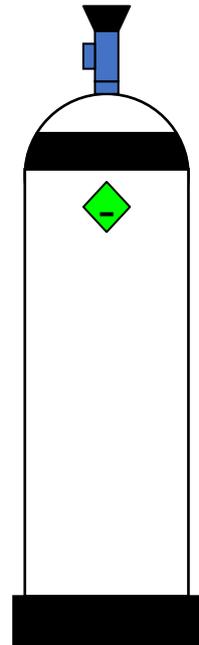
Aufstieg aus 40 m Tiefe:

1 min x 5 bar x 40 l/min : 1 bar	→	200 Liter
4 min x 5 bar x 40 l/min : 1 bar	→	800 Liter
<u>3 min x 1,5 bar x 40 l/min : 1 bar</u>	→	<u>180 Liter</u>
Gesamtvolumen Aufstieg	→	1.180 Liter

Umkehrdruck bei einer 10 Liter Flasche

Boyle-Mariotte: $p \times V = \text{konstant}$

→ $p_{DTG} \times V_{DTG} = p_{\text{Oberfläche}} \times V_{\text{Oberfläche}}$



Gesucht: Druckdifferenz DTG (p_{DTG})

Notweniges Luftvolumen **1.180 Liter** ($V_{\text{Oberfläche}}$)

Volumen DTG = **10 Liter** (V_{DTG})

Umgebungsdruck Oberfläche: **1 bar** ($p_{\text{Oberfläche}}$)

$$p_{DTG} = \frac{p_{\text{Oberfläche}} \times V_{\text{Oberfläche}}}{V_{DTG}} = \frac{1 \text{ bar} \times 1.180 \text{ l}}{10 \text{ l}} = 118 \text{ bar}$$

Umkehrdruck: 118 bar

Annahme für die Berechnung des Umkehrdrucks

Flächengröße	Luftvolumen	Druckdifferenz	Umkehrdruck
10 l	1.180 l	118 bar	118 bar
12 l	1.180 l	98 bar	98 bar
14 l (2 x 7 l)	1.180 l	84 bar	84 bar
15 l	1.180 l	79 bar	79 bar
20 l (2 x 10 l)	1.180 l	59 bar	59 bar
24 l (2 x 12 l)	1.180 l	49 bar	49 bar

$$p_{DTG} = \frac{p_{\text{Oberfläche}} \times V_{\text{Oberfläche}}}{V_{DTG}}$$

Umkehrdruck bei verschiedenen Flaschengrößen und 40 m Tiefe

Flaschengröße	Luftvolumen	Druckdifferenz	Umkehrdruck	Mindestdruck
10 l	1.180 l	118 bar	118 bar	99 bar
12 l	1.180 l	98 bar	98 bar	91 bar
14 l (2 x 7 l)	1.180 l	84 bar	84 bar	85 bar
15 l	1.180 l	79 bar	79 bar	83 bar
20 l (2 x 10 l)	1.180 l	59 bar	59 bar	75 bar
24 l (2 x 12 l)	1.180 l	49 bar	49 bar	70 bar

Wir beenden bei Erreichen des Umkehrdrucks den Tauchgang und beginnen mit dem AUSTAUCHEN.

Zum Vergleich: Mindestdruck ohne Probleme aber inklusive Reservedruck

$$\text{Umkehrdruck} = V_{\text{Oberfläche}} \times 1 \text{ bar} : V_{\text{DTG}}$$

mit

$$V_{\text{Oberfläche}} = p_{\text{max. Tiefe}} \times (t_{\text{Aufstieg}} + 1 \text{ min}) \times 2 \times \text{AMV} : 1 \text{ bar} \\ + p_{\text{Stopp}} \times t_{\text{Stopp}} \times 2 \times \text{AMV} : 1 \text{ bar}$$

- **AMV** kann mit 20 l/min angesetzt werden (bei Bedarf natürlich auch höher), für 2 Personen also mit 40 l/min
- Druck der maximalen Tiefe **p_{max. Tiefe}** auch für den Aufstieg
- Zeit für den Aufstieg **t_{Aufstieg}** noch um **+ 1 min** zur Problemlösung erhöhen
- Ggf. Luftvolumen für weitere Stopps addieren

Umkehrdruck bei verschiedenen Flaschengrößen und Tiefen

Wassertiefe	20 m	30 m	40 m
Luftvolumen	540 l	820 l	1.180 l
10 l	54 bar	82 bar	118 bar
12 l	45 bar	68 bar	98 bar
14 l (2 x 7 l)	39 bar	59 bar	84 bar
15 l	36 bar	55 bar	79 bar
17 l (2 x 8,5 l)	32 bar	48 bar	69 bar
20 l (2 x 10 l)	27 bar	41 bar	59 bar
24 l (2 x 12 l)	23 bar	34 bar	49 bar

Aufstiegsberechnung bei **Dekotauchgang**

Aufstieg aus 40 m Tiefe nach 15 min Grundzeit:

1 min **Problemlösung**
 4 min bis zur Oberfläche
 4 min Dekostopp auf 6
 6 min Dekostopp auf 3 m
3 min Sicherheitsstopp auf 3 m

18 min Gesamtaufstiegszeit

Gasverbrauch beim Aufstieg: **Dekotauchgang**

Atemminutenvolumen: 20 l/min + 20 l/min (Partner)

Aufstieg aus 40 m Tiefe nach 15 min Grundzeit:

1 min x 5 bar x 40 l/min : 1 bar	→	200 Liter
4 min x 5 bar x 40 l/min : 1 bar	→	800 Liter
4 min x 1,6 bar x 40 l/min : 1 bar	→	256 Liter
6 min x 1,3 bar x 40 l/min : 1 bar	→	312 Liter
<u>3 min x 1,3 bar x 40 l/min : 1 bar</u>	→	<u>156 Liter</u>

Gesamtvolumen Aufstieg → 1.724 Liter

Wie ist vorzugehen, wenn beide Tauchpartner unterschiedliche Flaschengrößen haben?

Annahme:

- Taucher A hat eine 15-Liter-DTG
- Taucher B hat eine Doppel-7-Liter-DTG

Bei unterschiedlichen Flaschengrößen ist aus Sicherheitsgründen vom ungünstigeren Fall auszugehen, d.h. **es wird die kleinste vorhandene Flaschengröße angesetzt.**

Hier: 2 x 7 Liter

Umkehrdruck bei einer 2 x 7 Liter Flasche

Boyle-Mariotte: $p \times V = \text{konstant}$

$\rightarrow p_{DTG} \times V_{DTG} = p_{\text{Oberfläche}} \times V_{\text{Oberfläche}}$

Gesucht: Druckdifferenz DTG (p_{DTG})

Notweniges Luftvolumen 1.724 Liter ($V_{\text{Oberfläche}}$)

Volumen DTG = 14 Liter (V_{DTG})

Umgebungsdruck Oberfläche: 1 bar ($p_{\text{Oberfläche}}$)

$$p_{DTG} = \frac{p_{\text{Oberfläche}} \times V_{\text{Oberfläche}}}{V_{DTG}} = \frac{1 \text{ bar} \times 1.724 \text{ l}}{14 \text{ l}} = 123 \text{ bar}$$

Umkehrdruck: 123 bar

Kann dieser Tauchgang so durchgeführt werden?

Für die Grundzeit von 15 min auf 40 m erforderliches Luftvolumen:

15 min x 5 bar x 20 l/min : 1 bar	=	1.500 l
Zuzüglich Gesamtvolumen Aufstiegt		1.724 l
Ergibt		3.224 l

d.h. der Flascheninhalt von 2.800 l reicht nicht aus!

Lösungsansätze:

- Tauchgang mit **größerem DTG** durchführen (z.B. Doppel-8,5 l-DTG)
- geplante **Grundzeit reduzieren**