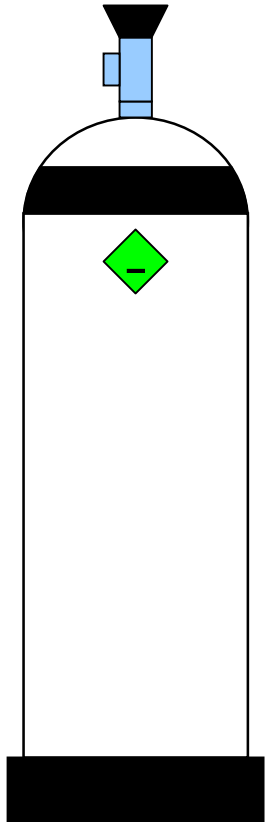

Tauchgangsplanung

Umkehrdruck

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 (Dekostopps) und Sicherheitsstopp.
- In Abhängigkeit der Flaschengröße kann der notwendige Mindestdruck errechnet werden.

Bei dieser Berechnung wird der Reservedruck nicht mit eingeplant!

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

Austauchtabelle DECO 2000

Stopp in	6	3	m	Stopp in	9	6	3	m	Stopp in	12	9	6	3	m
12	36		D	27	6			B	39	6				C
140'	54		E	10				C	9'	9				D
	72		F	14				D	12					E
	90		G	18				E	15					F
	108		G	22	2			F	18					G
				26	5			G	21	1				
15	24		D	30	8			H	24	3				
72'	36		E	34	2	10		F	27	4	7			
	48		F	38	3	13		G	4					
	60		G	42	5	15		H	7					
	72		G	46	7	18		G	10					
	84	4	G	50	9	21		H	13					
									16					
									19	2	4			
									22	3	6			
									25	1	4	8		
18	15		C	30	6			B	42	7				C
45'	25		D	9				C	7'	10				D
	35		E	12				D	13					E
	45		F	15				D	16					F
	55	4	F	18				E	19					G
	65	8	G	21	2			F	22	3				
	75	14	G	24	4			G	25	1	4			
				27	6			H	6					
				30	8			I	8					
21	11		C	33	10			B	10					
31'	16		D	12				C	12					
	21		E	15				D	14					
	26		F	18				E	16					
	31		G	21	1			F	18					
	36	2	F	24	2			G	20	1				
	41	5	F	27	3			H	22	2				
	46	7	F	30	4			I	5					
	51	10	G	33	5			B	7					
	56	13	G	36	6			C	9					
	61	17	G	39	7			D	11					
				42	9			E	13					
									15					
									17					
									19					
									21					
									23					
									25					
									27					
									29					
									31					
									33					
									35					
									37					
									39					
									41					
									43					
									45					
									47					
									49					
									51					
									53					
									55					

0 – 700m ü. N.N.
Aufstieg mit 10m/min

Beispiel:

Aufstiegsberechnung bei **Nullzeittauchgang**

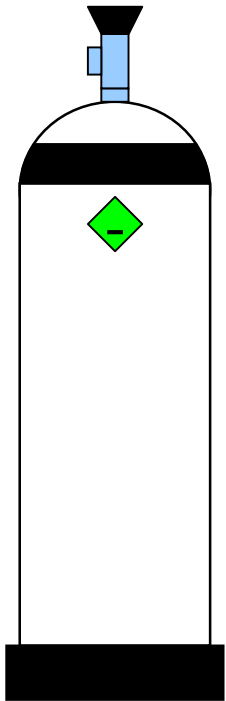
Aufstieg aus 40 m Tiefe:

4 min bis zur Oberfläche

3 min Sicherheitsstopp auf **5 m**

7 min Gesamtaufstiegszeit

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck



Gasverbrauch beim Aufstieg: **Nullzeittauchgang**
(Atemminutenvolumen: 20 l/min)

Aufstieg aus 40 m Tiefe:

4 min · 5 bar · 20 l/min / 1 bar → 400 Liter

3 min · 1,5 bar · 20 l/min / 1 bar → 90 Liter

Gesamtvolumen Aufstieg → **490 Liter**

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

Notwendiger Mindestdruck bei einer 10 Liter Flasche

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

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

Gesucht: Druckdifferenz DTG (p_{DTG})

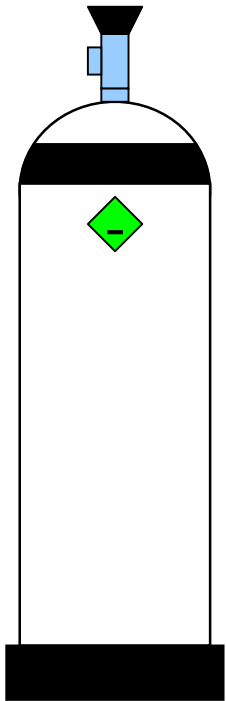
Notwendiges Luftvolumen **490 Liter** ($V_{\text{Oberfläche}}$)

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

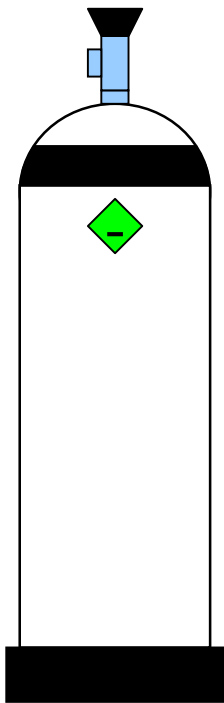
Umgebungsdruck Oberfläche: **1 bar** ($p_{\text{Oberfläche}}$)

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

Mindestdruck: 49 bar + 50 bar = 99 bar



Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

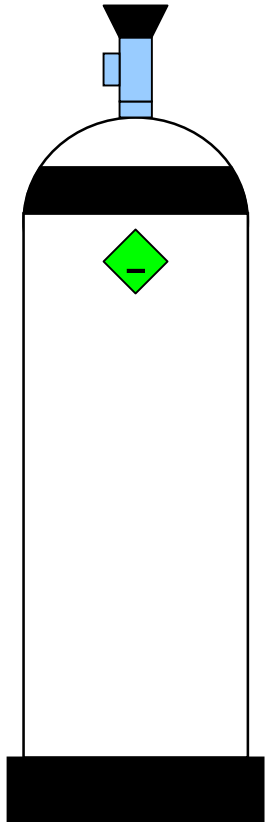


Notwendiger Mindestdruck bei verschiedenen Flaschengrößen

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

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

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck



Annahme für die Berechnung des Umkehrdrucks:
vollständiger Ausfall des Partner DTG auf 40 m Tiefe
(hier: **Problem und Versorgung von zwei Tauchern**)

1. Berechnung des erforderlichen Luftvolumens für den Aufstieg einschließlich Austauschpausen (Dekostopps) und Sicherheitsstopp.
2. Berechnung des **Umkehrdrucks** in Abhängigkeit der Flaschengröße

Ein Reservedruck muss bei diesem Szenario nicht im DTG verbleiben!

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

Austauchtabelle DECO 2000

Stopp in	6	3	m	Stopp in	9	6	3	m	Stopp in	12	9	6	3	m
12	36		D	27	6			B	39	6				C
	54		E		10			C		9				D
140'	72		F	18'	14			D	9'	12				E
	90		G		18			E		15				F
	108		G		22	2		F		18				G
					26	5		F		21	1			H
15	24		D		30			G		24	3			I
	36		E		34	2	10	F		27	4			J
	48		F		38	3	13	G						K
72'	60		F		42	5	15	G	42	7				L
	72		G		46	7	18	G	47'	10				M
	84		G		50	9	21	G		13				N
18	15		C		6			B		16				O
	25		D		9			C		19	2			P
45'	35		E	30	12			D		22	3			Q
	45		F	15'	15			D		25	1			R
	55	4	F		18	2		E	45	6				S
	65	8	G		21	4		E		8				T
	75	14	G		24	1	4	F		10				U
					27	2	8	F		12				V
21	11		C		30	3	10	F		14	1			W
	16		D		33	5	12	G		16	2			X
31'	21		D		36	6	15	G		18	3			Y
	26		E		39	1	7	H		20	1			Z
	31		E		42	1	9	H		22	2			AA
	36	2	F		6			C	48	5				AB
	41	5	F		9			D		7				AC
	46	7	F		12			D		9				AD
	51	10	G		15	2		D		11				AE
	56	13	G		18	5		E		13	1			AF
	61	17	G		21	1	7	E		15	2			AG
					24	3	8	F		17	1			AH
24	7		B		27	5	10	F		19	2			AI
	11		C		30	1	5	G		21	3			AJ
	15		D		33	2	7	G		23	3			AK
	19		D		36	3	8	G		25	4			AL
	23		E		6			C	51	6				AM
	27	2	E		10			D		8				AN
	31	4	F		14			D		10				AO
	35	7	F		18	3		E		12	1			AP
	39	9	F		21	5		E		14	3			AQ
	43	1	12		24	1	4	F		16	1			AR
	47	2	14		27	2	6	F		18	2			AS
	51	3	17		30	3	7	F						AT
	55	5	19		33	4	9	F						AU

0 – 700m ü. N.N.
Aufstieg mit 10m/min

Aufstiegsberechnung bei **Nullzeittauchgang**

Aufstieg aus 40 m Tiefe:

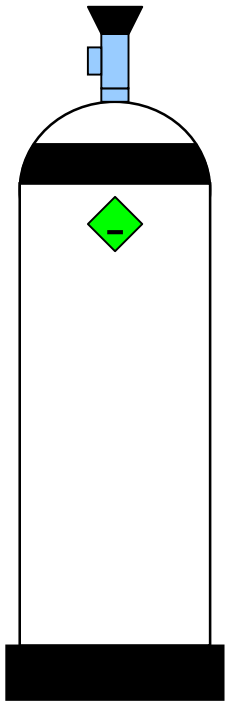
1 min **Problemlösung**

4 min bis zur Oberfläche

3 min Sicherheitsstopp auf **5 m**

8 min Gesamtaufstiegszeit

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck



Gasverbrauch beim Aufstieg: **Nullzeittauchgang**
Atemminutenvolumen: 20 l/min + 20 l/min (Partner)

Aufstieg aus 40 m Tiefe:

1 min · 5 bar · 40 l/min / 1 bar → 200 Liter

4 min · 5 bar · 40 l/min / 1 bar → 800 Liter

3 min · 1,5 bar · 40 l/min / 1 bar → 180 Liter

Gesamtvolumen Aufstieg → 1.180 Liter

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

Umkehrdruck bei einer 10 Liter Flasche

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

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

Gesucht: Druckdifferenz DTG (p_{DTG})

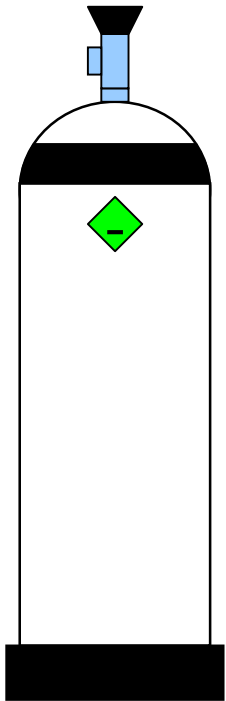
Notwendiges Luftvolumen **1.180 Liter** ($V_{\text{Oberfläche}}$)

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

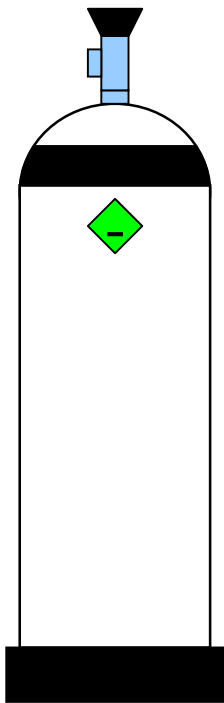
Umgebungsdruck Oberfläche: **1 bar** ($p_{\text{Oberfläche}}$)

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

Umkehrdruck: 118 bar



Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

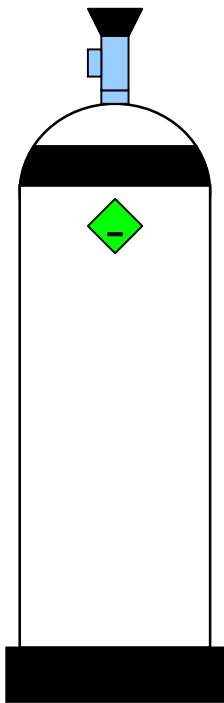


Notwendiger Umkehrdruck bei verschiedenen Flaschengrößen

Flaschen- größe	Luft- volumen	Druck- differenz	Umkehr- druck
10 l	1.180 l	118 bar	118 bar
12 l	1.180 l	98 bar	98 bar
14 l (2 · 7 l)	1.180 l	84 bar	84 bar
15 l	1.180 l	79 bar	79 bar
20 l (2 · 10 l)	1.180 l	59 bar	59 bar
24 l (2 · 12 l)	1.180 l	49 bar	49 bar

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

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck



Umkehrdruck bei verschiedenen Flaschengrößen und 40 m Tiefe

Flaschen- größe	Luft- volumen	Druck- differenz	Umkehr- druck	Mindest- druck
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 · 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 · 10 l)	1.180 l	59 bar	59 bar	75 bar
24 l (2 · 12 l)	1.180 l	49 bar	49 bar	70 bar

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

**Zum Vergleich:
Mindestdruck ohne Probleme aber
inklusive Reservedruck**



Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

$$\text{Umkehrdruck} = V_{\text{Oberfläche}} \cdot 1 \text{ bar} / V_{\text{DTG}}$$

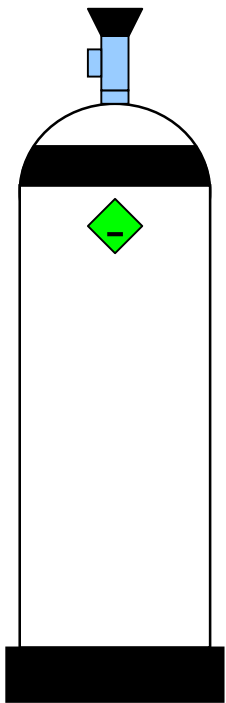
mit

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

- **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 $p_{\text{max. Tiefe}}$ auch für den Aufstieg
- Zeit für den Aufstieg t_{Aufstieg} noch um **+ 1 min** zur Problemlösung erhöhen
- ggf. Luftvolumen für weitere Stopps addieren

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

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 · 7 l)	39 bar	59 bar	84 bar
15 l	36 bar	55 bar	79 bar
17 l (2 · 8,5 l)	32 bar	48 bar	69 bar
20 l (2 · 10 l)	27 bar	41 bar	59 bar
24 l (2 · 12 l)	23 bar	34 bar	49 bar

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

Austauchtabelle DECO 2000

Stopp in	6	3	m	Stopp in	9	6	3	m	Stopp in	12	9	6	3	m
12	36		D	27	6			B	39	6				C
140'	54		E	18'	10			C	9'	12				E
	72		F		14			D		15				F
	90		G		18			E		18				F
	108		G		22	2		F		21	1			G
					26	5		F		24	3			G
15	24		D		30	8		F		27	4			G
15'	36		E		34	2	10	F						
	48		F		38	3	13	F						
	60		F		42	5	15	F						
	72		G		46	7	18	F						
	84		G		50	9	21	F						
									42	7				C
18	15		C		6			B	7'	10				D
45'	25		D		9			C		13				E
	35		E		12			D		16				F
	45		F		15			D		19	2			F
	55	4	F		18			D		22	3			G
	65	8	G		21	2		E		25	4			G
	75	14	G		24	4		E						
					27	6		F						
21	11		C		27	1	6	F						
31'	16		D		30	2	8	F						
	21		D		33	3	10	F						
	26		E		36	4	12	F						
	31		E		39	5	15	F						
	36	2	F		42	7	17	F						
	41	5	F						45	6				D
	46	7	F						6'	8				D
	51	10	G							10				E
	56	13	G							12				F
	61	17	G							14				F
										16				F
24	7		B							18				F
23'	11		C							20				G
	15		D							22				G
	19		D											
	23		E											
	27	2	E											
	31	4	F											
	35	7	F											
	39	9	F											
	43	1	12											
	47	2	14											
	51	3	17											
	55	5	19											

0 – 700m ü. N.N.
Aufstieg mit 10m/min

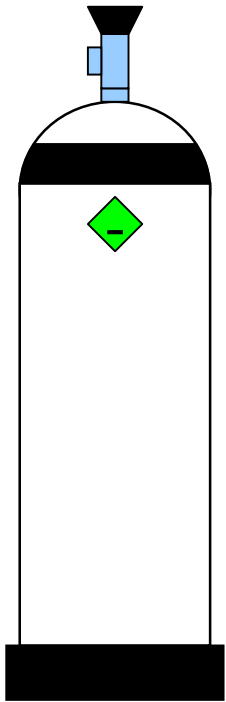
Aufstiegsberechnung bei Dekotauchgang

Aufstieg aus 40 m Tiefe nach 15 min Grundzeit:

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

18 min Gesamtaufstiegszeit

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck



Gasverbrauch beim Aufstieg: **Dekotauchgang**
 Atemminutenvolumen: 20 l/min + 20 l/min (Partner)

Aufstieg aus 40 m Tiefe nach 15 min Grundzeit:

1 min · 5 bar · 40 l /min / 1 bar	→	200 Liter
4 min · 5 bar · 40 l /min / 1 bar	→	800 Liter
4 min · 1,6 bar · 40 l /min / 1 bar	→	256 Liter
6 min · 1,3 bar · 40 l /min / 1 bar	→	312 Liter
3 min · 1,3 bar · 40 l /min / 1 bar	→	156 Liter

Gesamtvolumen Aufstieg → **1.724 Liter**

Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

Wie ist vorzugehen, wenn beide Tauchpartner unterschiedliche Flaschengrößen haben?

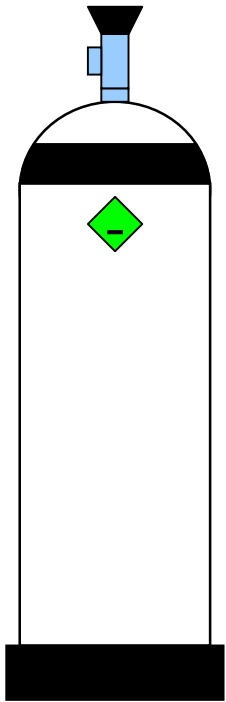
Annahme:

Taucher A hat ein 15-Liter-DTG

Taucher B hat ein 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 · 7 Liter



Tauchgangsplanung - Umkehrdruck

Umkehrdruck bei einer 2 · 7 Liter Flasche

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

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

Gesucht: Druckdifferenz DTG (p_{DTG})

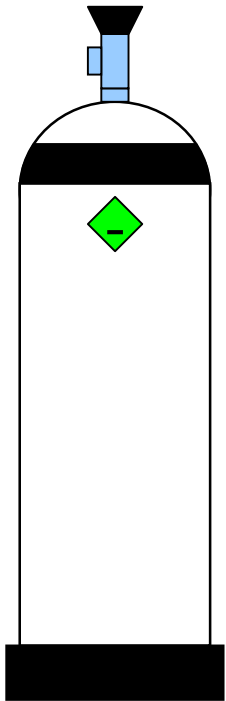
Notwendiges Luftvolumen **1.724 Liter** ($V_{\text{Oberfläche}}$)

Volumen DTG = **14 Liter** (V_{DTG})

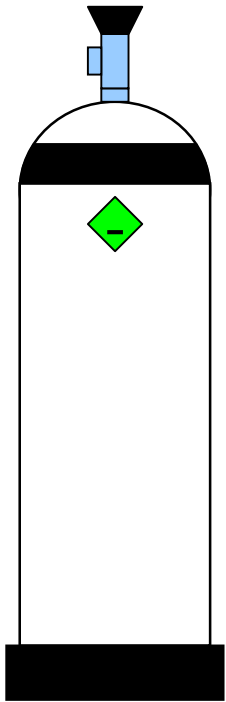
Umgebungsdruck Oberfläche: **1 bar** ($p_{\text{Oberfläche}}$)

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

Umkehrdruck: 123 bar



Tauchgangsplanung - Umkehrdruck



Kann dieser Tauchgang so durchgeführt werden?

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

15 min · 5 bar · 20 l/min / 1 bar = 1.500 l

zuzüglich Gesamtvolumen Aufstieg 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**