

# Der Umkehrdruck

Tauchgangsberechnung neu gedacht

H.-Albert Brüne

TL\*; Druckkammerarzt GTÜM

Tauchsport seit 13 Jahren



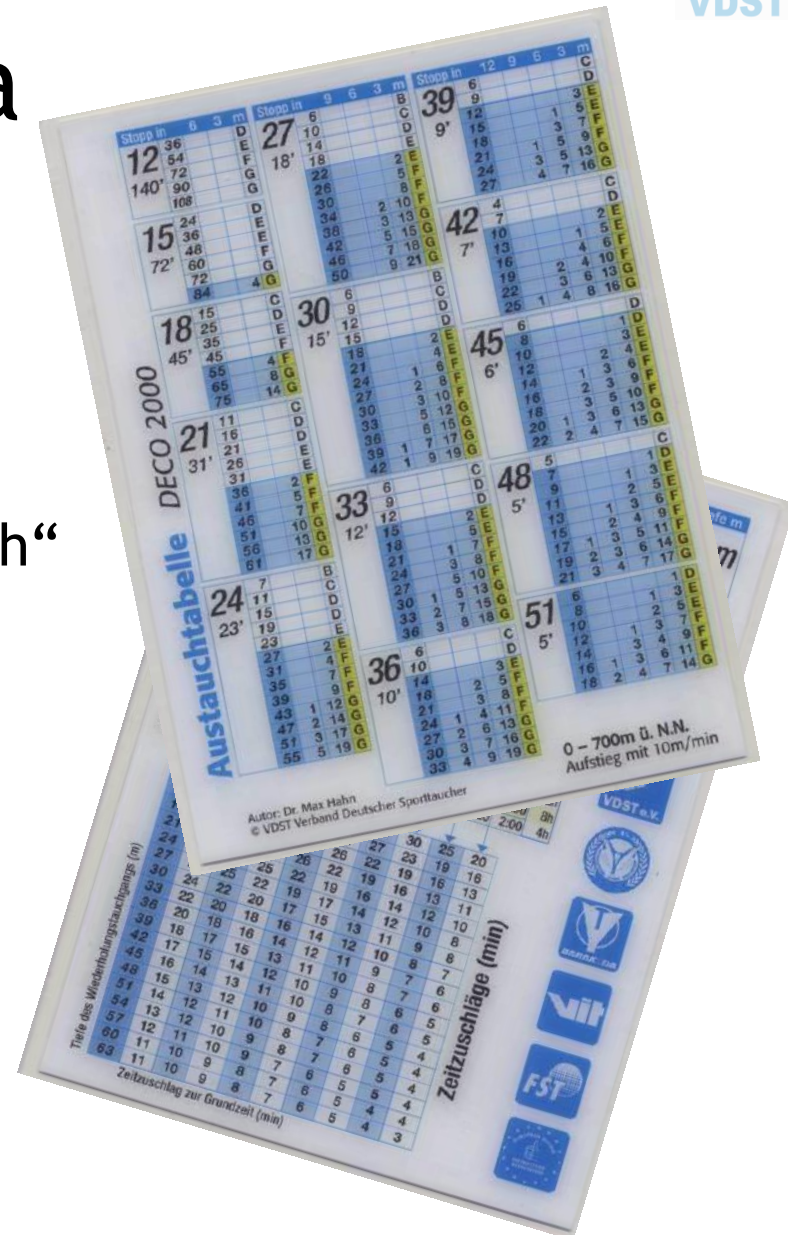
Zielgruppe:

Ab angehende DTSA\*\* / CMAS \*\*

und höher (auch TL) und vergleichbar

# Agenda

- Motivation
- Ansätze zur Gasplanung
  - Tauchgangsberechnung „klassisch“
  - Umkehrdruck
  - Praxisrelevanz
- Beispiele
- Zusammenfassung



# Vorgehen

Tauchgangsprofil



Dekotabelle



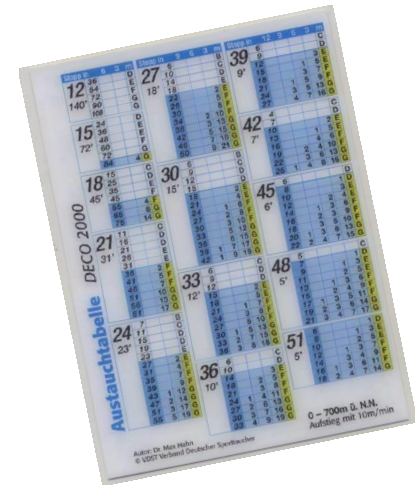
Gasmenge



Flaschengröße

# Tauchgangsberechnung (normal)

- **Druck der Maximaltiefe verwenden**
  - Abstieg + Verweildauer
  - Aufstieg (10m/min)
- **persönliches Atemminutenvolumen**
  - Berechnung 20 l/min (Albert 25 l/min)
- **Austauchvorschrift**
  - Dekostopps
  - Sicherheitsstopp: 3 min /5 mtr. (Nullzeit TG) oder +3 Min auf 3 mtr.
  - Zusatzbedingungen (Kälte Zuschlag, Anstrengung Zuschlag)?
- **Reserve von 50 bar steht nicht zur Verfügung**



The image shows a technical diving decompression table (DECO 2000) with columns for depth (m), time (min), and gas consumption (l/min). The table is divided into sections for different depths and times, with a vertical label 'Austauchtabelle' on the left. The bottom right corner of the table includes the text: '0 - 700m ü. NN, Aufstieg mit 10m/min'.

# Planung klassisch

- TG 27 mtr. 14 min
- Deco 2000 Nullzeit TG
- Gasverbrauch:



$$\begin{array}{rcl}
 (20 \text{ l/min} /_{1\text{bar}} \times 3,7 \text{ bar} \times 14 \text{ min}) & = & 1.036 \text{ l} \\
 (20 \text{ l/min} /_{1\text{bar}} \times 3,7 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & 222 \text{ l} \\
 (20 \text{ l/min} /_{1\text{bar}} \times 1,5 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & \underline{90 \text{ l}} \\
 & & 1.348 \text{ l}
 \end{array}$$

- Flasche:  $\frac{1.348 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{150 \text{ bar}^*} = 8,99 \text{ l} = \mathbf{10 \text{ l Flasche}}$

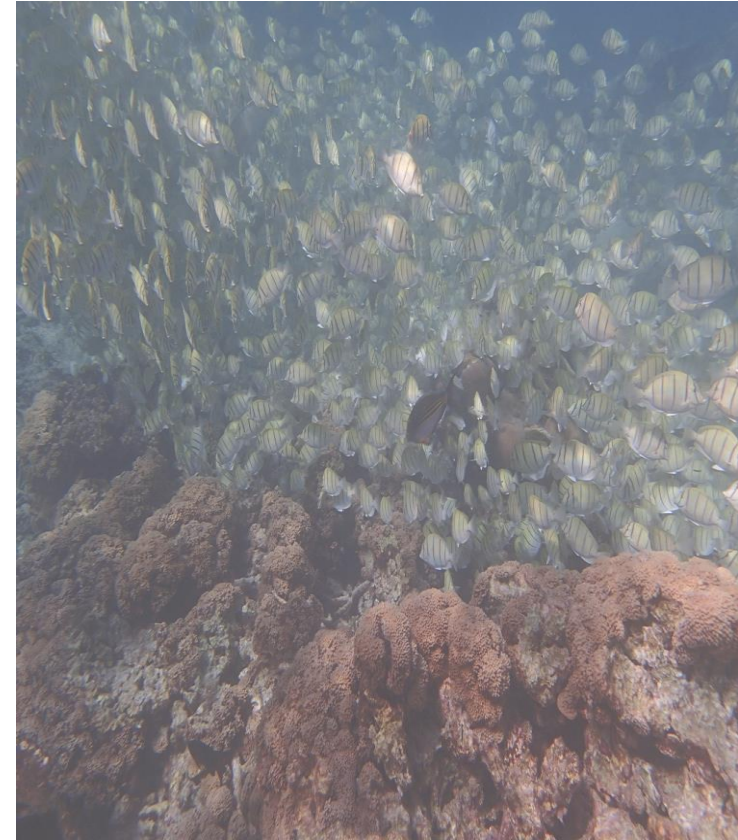
\*200 bar - 50 bar Reserve



# Planung Notfall

## Vorüberlegung

- **Flaschenfüllung optimal (200 bar) ?**
- **Tauchprofil Rechteck ?**
  - Wie sieht es in der Praxis wirklich aus?
  - Sicherheitsmarge zu hoch?
  - Wo bleibt der Fun?
- **Notfallplanung ?**
  - 50 bar Reserve?
  - Zu kleine Flaschen?
  - AMV unter Stress > 20 l/min?
  - Zeit Problemlösung 1 min (mehr)?



# Beispiel „Notfall“



Nach 14 Min auf 27 mtr. Buddy Zeichen „Flasche leer“

Berechnung:	$(20 \text{ l/min/}_{1\text{bar}} \times 3,7 \text{ bar} \times 14 \text{ min})$	=	1.036 l
(Notfall)	$(40 \text{ l/min/}_{1\text{bar}} \times 3,7 \text{ bar} \times 1 \text{ min})$	=	148 l
	$(40 \text{ l/min/}_{1\text{bar}} \times 3,7 \text{ bar} \times 3 \text{ min})$	=	444 l
	$(40 \text{ l/min/}_{1\text{bar}} \times 1,5 \text{ bar} \times 3 \text{ min})$	=	<u>180 l</u>
			1.808 l

Flasche	$\frac{1.808 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{150 \text{ bar}^*}$	=	12,05 l = <b>12 l Flasche</b>
	$\frac{1.808 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{200 \text{ bar}}$	=	9,04 l = <b>10 l Flasche</b>

\*200 bar - 50 bar Reserve

$(20 \text{ l/min/}_{1\text{bar}} \times 3,7 \text{ bar} \times 14 \text{ min})$	=	1.036 l
$(20 \text{ l/min/}_{1\text{bar}} \times 3,7 \text{ bar} \times 3 \text{ min})$	=	222 l
$(20 \text{ l/min/}_{1\text{bar}} \times 1,5 \text{ bar} \times 3 \text{ min})$	=	<u>90 l</u>
		1349 l
$\frac{1.348 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{150 \text{ bar}^*}$	=	8,98 l = <b>10 l Flasche</b>

# Umkehrdruck

Bei welchem Druck ist das Austauschen zu beginnen, damit der Gasvorrat im Notfall einschließlich der Austauschpausen und Sicherheitsstopp ausreicht?



# Umkehrdruck - Ansatz

- **Gasmenge für Austauchen (ohne Notfallplanung)**
  - Aufstieg
  - Decostopps
  - Sicherheitsstopp
- **Mindestdruck in Abhängigkeit von der Flaschengröße**
  - Reservedruck wird nicht mit eingeplant

- **Neu: Notfallszenario (worst case)**
  - Luft für Zwei
  - Kompletter Gasverlust beim Partner
  - 1 Stressminute auf Maximaltiefe zusätzlich
  - Reserve (50bar) steht zur Verfügung
- Errechnen daraus: **Umkehrdruck**



# Umkehrdruck - Ansatz

- **Bisherige Tauchgangsplanung**
  - Tiefe und Zeit => Deko => Gasverbrauch => Flaschengröße
- **Neu: Bestimmung des *Umkehrdruckes***
  - Austauschvorgang und Gasverlust werden berücksichtigt
  - Basis: Zieltiefe, AMV, Flaschengröße
  - Regeln zu Berechnung werden eingehalten
  - 50 bar Reserve werden einbezogen


# Umkehrdruck - Regeln

- **Realistisches AMV ansetzen**
  - Berechnung 20 l/min (Albert 25 l/min)
- **Austauschvorschrift beachten**
  - Aufstiegs geschwindigkeit 10 m/min
  - Berechnungsdruck der maximalen Tiefe ansetzen
  - ggf. Dekostopps berücksichtigen
  - Sicherheitsstopp: 3 min / 5 mtr oder Zuschlag 3 min auf 3 mtr.
- **Partnerrettung**
  - Annahme vollständiger Gasverlust beim Partner
  - 1 Stress - Minute auf Maximaltiefe zur Problemlösung
  - 50 bar Reserve wird mit eingerechnet

# Beispiel 1

- **Aufstieg aus 27 Metern** (Nullzeittauchgang)

$$\begin{array}{rcl}
 (20 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 3,7 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & 222 \text{ l} \\
 (20 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 1,5 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & \underline{90 \text{ l}} \\
 & & 312 \text{ l}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 (40 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 3,7 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & 444 \text{ l} \\
 (40 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 3,7 \text{ bar} \times 1 \text{ min}) & = & 148 \text{ l} \\
 (40 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 1,5 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & \underline{180 \text{ l}} \\
 & & 772 \text{ l}
 \end{array}$$


- 10 l Flasche  $\frac{772 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{10 \text{ l}} = 77 \text{ bar}$

- 12 l Flasche  $\frac{772 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{12 \text{ l}} = 64 \text{ bar}$

# Beispiel 2

- **Aufstieg aus 40 Metern** (Nullzeittauchgang)

$$\begin{array}{rcl}
 (20 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 5 \text{ bar} \times 4 \text{ min}) & = & 400 \text{ l} \\
 (20 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 1,5 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & \underline{90 \text{ l}} \\
 & & 490 \text{ l}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 (40 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 5 \text{ bar} \times 4 \text{ min}) & = & 800 \text{ l} \\
 (40 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 5 \text{ bar} \times 1 \text{ min}) & = & 200 \text{ l} \\
 (40 \text{ l/min} / 1\text{bar} \times 1,5 \text{ bar} \times 3 \text{ min}) & = & \underline{180 \text{ l}} \\
 & & 1.180 \text{ l}
 \end{array}$$

- 10 l Flasche  $\frac{1180 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{10 \text{ l}} = 118 \text{ bar}$
- 12 l Flasche  $\frac{1180 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{12 \text{ l}} = 98 \text{ bar}$
- Doppel 7er  $\frac{1180 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{14 \text{ l}} = 84 \text{ bar}$
- 15 l Flasche  $\frac{1180 \text{ l} \times 1 \text{ bar}}{15 \text{ l}} = 79 \text{ bar}$



# Tabelle für 40 mtr

Umkehrdruck bei verschiedenen Flaschengrößen

Flaschen- größe	Luft- volumen	Umkehr- druck	Albert (25/min)
10 l	1.180 l	118 bar	133 bar
12 l	1.180 l	98 bar	111 bar
Doppel 7	1.180 l	84 bar	95 bar
15 l	1.180 l	79 bar	89 bar
Doppel 8	1.180 l	74 bar	83 bar
Doppel 10	1.180 l	59 bar	67 bar
Doppel 12	1.180 l	49 bar	55 bar



# Take Home Message

- Die Bestimmung des Umkehrdruckes bezieht das Notfallszenario eines kompletten Gasverlustes des Partners mit ein.
- Bei kleinen Flaschen reicht der Mindestdruck nicht aus, um einen Partner aus 40 mtr sicher zur Oberfläche zu bringen
  - Gasvorrat für 1 Person plus Reserve reicht nicht
- Tauchgangsberechnungen sind keine exakte Wissenschaft!!
  - Hier wird nicht exakt wissenschaftlich mathematisch gerechnet
- Die Bestimmung des **Umkehrdruckes** ist meist näher an der Praxis als die „klassische“ Methode.

# Take Home Message

***Besser überhaupt,  
wenigstens halbwegs sinnvoll  
gerechnet  
als ohne Plan drauf losgetaucht***



# Quellen

- *Chr. Schüring* TL\*\*\* Ausbilderforum NRW 2017
- *Deco 2000* Austauchtabelle VDST Max Hahn
- *H.-Albert Brüne* AMV Berechnungen am eigenen Leib

