

Tauchcomputer und Tauchtabellen: Möglichkeiten & Grenzen

THE

SUB
MARINE
CONSULTING

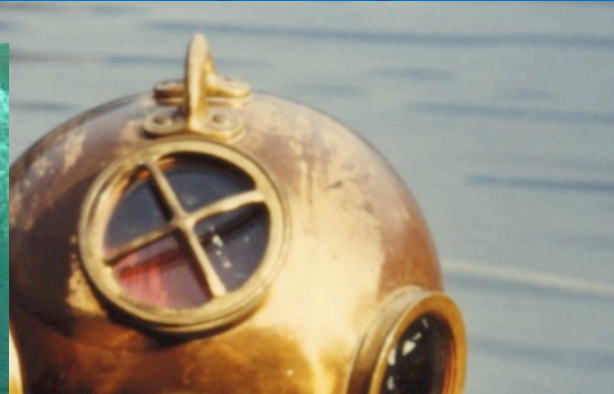
GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING

אל לב י



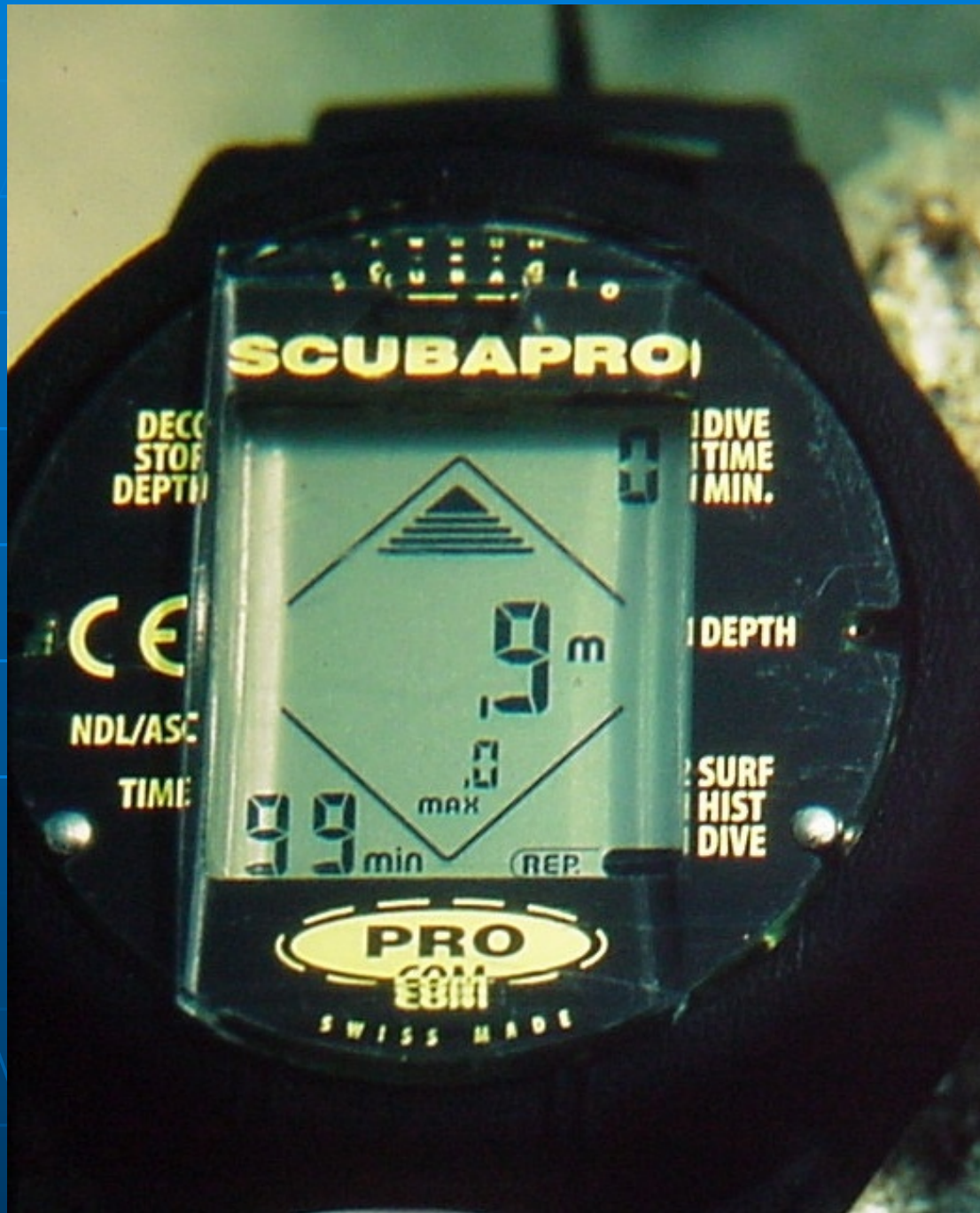
Tauchcomputer und Tauchtabellen: Möglichkeiten & Grenzen

Möglichkeiten & Grenzen

bei:

- Hardware
- Software:
 - Algorithmen
 - Implementierung







HTSV Ausbildertagung 2013



Quelle: Mario A., TEC Student @ ALBI

Dive computers

Simple example: Dive computer that randomly resets underwater, losing large amounts of deco. The Yellow Explorer is on my hand. It shows I can surface.

My buddy has an Open Source dive computer, showing 20 minutes of deco. My buddy used the same gas, same equipment and stuck to me like glue. Three witnesses to this event.

A few weeks later, a diver in Sweden became a paraplegic on a rebreather, due to this exact fault on this model of dive computer. If it were not for the excellent medical response in Sweden, he would have died.








The cause: the software does not comply to EN61508 or any other functional safety standard. If it did meet IEC EN 61508 these accidents would not have happened.



Yellow Computer is an Explorer. It reset underwater losing 20 minutes of deco, without warning.

Black computer alongside is of a buddy with the same profile showing 20 minutes of decompression.

The Bristol stool form scale

Type 1		Separate hard lumps, like nuts (hard to pass)	Maintain MOVICOL dose
Type 2		Sausage-shaped but lumpy	Maintain MOVICOL dose
Type 3		Like a sausage but with cracks on its surface	✓
Type 4		Like a sausage or snake, smooth and soft	✓
Type 5		Soft blobs with clear-cut edges (passed easily)	Decrease MOVICOL dose
Type 6		Fluffy pieces with ragged edges, a mushy stool	Decrease MOVICOL dose
Type 7		Watery, no solid pieces ENTIRELY LIQUID	Decrease MOVICOL dose

HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING

"If you have not seen a dive computer failure, you have not been diving enough."

**DSAT Tec Deep Diver Manual auf Seite
163, (PADI Product No. 79138 (12/00)
Version 1, ISBN 1-878663-25-9)**

HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING



HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING

Computer	angezeigte Tiefe [m]	Rest-“Null“-Zeit [min.] (*)
COCHRAN: EMC-20 H	16,4	+ 5
VR Tech.: NHeO3	16,8	- 3 (1' / 3 + 2' / 17)
UWATEC: Aladin TEC 2G	16,9	+ 10

(*) 1. TG des Tages: ca. 31 m, aktuelle Laufzeit: ca. 42 min.



Stoppzeiten/ Methode:	24 m	21 m	18 m	15 m	12 m	9 m	6 m	3 m	TTS min	Bem.:
RGBM				1	2	3	3	7	16	Tabelle (s. u.)
GAP				1	3	3	3	7	17	RGBM -2
EMC					2	2	3	8	19	Konservativ = 0
U.S.N. alt							2	14	20	
MDv 450/1							5	15	20	+ ca. 4,2 !
IANTD Air					1	4	3	18	26	Tabelle (s.u.)
BGV C23						3	7	17	30	Nur Austauschzeit
DIVE 3_0						1	6	16	27	TDT = 52 (*)
OSTC Planner V. 434						1	6	16	28	TDT = 53
DIVE 2_905						2	6	16	29	TDT = 54
U.S.N. 2008							26		31	140 feet
USN 09-03							28		33	140 feet
ZH-86						4	7	19	33	42 m / 27 min
DECO 2000					1	4	8	16	33	
DCIEM						7	8	17	36	
NHeO3	26/2		2			1	8	21	36	Version 11/2011
TEC						3	k.A.	k.A.	36	L0 (Level Stop)
DP			1	1	3	4	9	19	37	GF: 45 / 90
GAP		1	1	1	2	4	9	19	37	GF: 45 / 90
VPM		2	2	3	4	6	8	14	39	138 feet
VR3	2	-	2	-	-	2	8	22	40	3 m -> 4,5 m
TEC					1	k.A.	k.A.	k.A.	40	L1
GAP		2	2	4	4	6	10	12	40	RGBM recreational
EMC			2	1	3	4	8	19	41	Konservativ = 50
VPM	1	2	3	3	5	6	9	14	43	Bühlmann Sicherheitsfaktor = 145,4 feet
TEC					3	k.A.	k.A.	k.A.	45	L2
DP (*)		1	2	2	4	6	11	19	46	VPM: Rel 3.1.4
Hahn DC-12					5	5	9	25	47	24 min GZ
TEC				1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	50	L3
TEC				3	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	57	L4
HLP		2	3	4	6	8	13	24	60	VPM 10 % Safety factor
TEC			2	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	65	L5
NHeO3	27/2	20/2			1	8	13	39	69	Cons.: 50
SDP	1			1					73	P2 / A0
Hahn									85 +	Tabelle (s.u.)
HLP	2	3	4	6	8	13	22	44	102	VPM 30 % Safety factor

SUB
MARINE
CONSULTING

Test-TG: 42 m, 25 min, Luft
Quelle: http://www.divetable.info/skripte/Deko_Manual.pdf

HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING

Prinzipielle Schwächen bei Dekompressions-Algorithmen: (gilt für Perfusions- als auch für Blasenmodelle):

- **Einsatzgrenzen: wurden**
- **vergessen!** (Haldane: < 6 Bar, < 30 min TTS)
- **mangelnde Datenbasis**
- **„uneventful decompression“**
- **Extrapolation für
längere / tiefere Tauchgänge
steht auf statistisch
sehr wackeligen Beinchen!**

(Quelle:
Haldane, J S. Respiration, p. 346, Yale University Press,
1922, 1927)



Figure 88.
“Bends” of foreleg in a goat.

HTSV Ausbildertagung 2013

**Prinzipielle Schwächen bei Dekompressions-Algorithmen:
(gilt für Perfusions- als auch für Blasenmodelle),
hier nur eine kleine Auswahl:**

- **„Low Pass“ (e-Funktion als Filter für hochfrequente Anteile)**
- **Körperliche Belastung („workload“)**
- **Umgebungstemperatur → Hauttemperatur**
- **Biometrie der Klientel**
- **Adaption der Klientel**
- **Hoher pO_2 (Bradycardie & Vasoconstriction)**
- **Latenz bei Gaswechsel**
- **Symmetrie bei Auf- & Entsättigung -???**

HTSV Ausbildertagung 2013

- Parallel- \leftrightarrow Serien-Schaltung der Kompartimente
- Die „Schlafende“ (aktives & passives Kapillarbett)
- Lage im Wasser
- und, und, und ...
- $\tau N_2 / \tau He = 2,65$ für alle Kompartimente -???

Nur bei ganz modernen Algorithmen („Hybrid Modellen“) teilweise berücksichtigt (Copernicus, GCM, USN VVAL-18 LEM, ...)

→ DAN „PDE“ (Projekt Dive Exploration“ !!!)

→ http://www.diversalertnetwork.org/research/studies/project_dive_exploration

**Benötigen wir Gradientenfaktoren zur
Reparatur eines defekten Algorithmus oder
zur Reparatur einer defekten Implementierung?**

Analyse von 1.920 Tmx TG aus dem TEC/Rec Bereich:

Tiefen: 30 – 80 m

Grundzeiten: 20 – 60 min

Heliumanteil: 5 – 80 % ,

(Normoxischer Mix, d.h. 75 – 0 % Stickstoffanteil)

= 480 Rechteckprofile

Vergleich der Dekompressionszeiten t_D nur für ZH-L 16 C!

nur Back-Gas, keine Deko-Gase, GF Hi = GF Lo = 1,00!

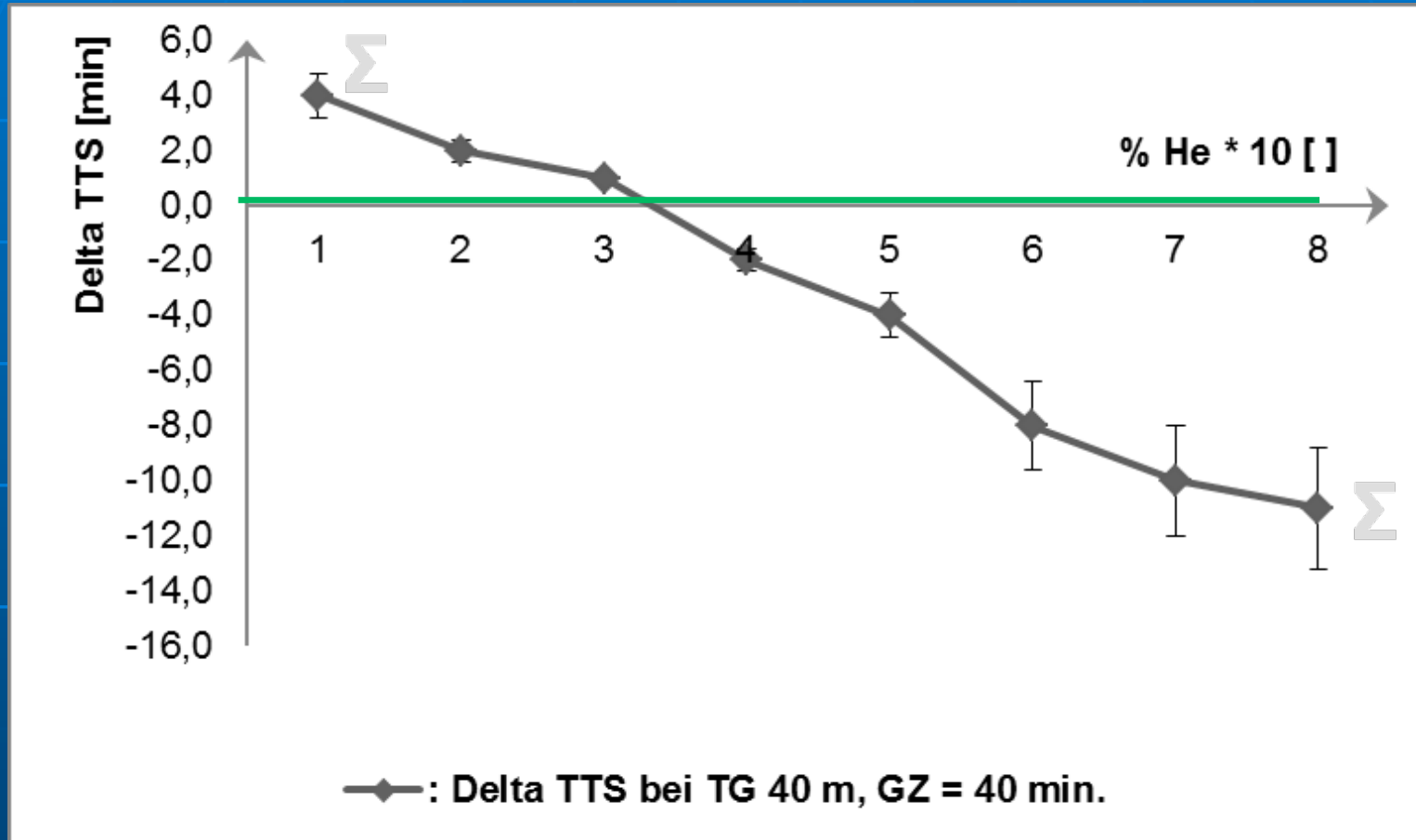
jeweils in den 4 Varianten:

„Null-Linie“: numerische Lösung (analog „Tabellen“-Lösung)

„Formel“ für t_D , 3 Software Produkte

HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING



- Null-Linie: numerische Lösung
- $\sum (t_{D,1} + t_{D,2} + t_{D,3}) / 3$

**Grund Nr. 7,
weshalb tiefe Deko-Stopps
besser sind als solche im
Flachwasser:**



Das dicke Ende -?-

Tauchcomputer gehört oft zur PSA gemäß Direktive 89/686/EEC der Europäischen Union, sowie zur EN13319:2000 Tauch-Zubehör – Tiefenmesser und kombinierte Tiefen- und Zeitmessgeräte – Funktions- und Sicherheitsanforderungen, Prüfmethoden; sowie: EN 250:2000 Atemgeräte - Autonome Leichttauchgeräte mit Druckluft - Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung (Manometerprüfung).

Allerdings:

Die vom Gerät gemachten Dekompressions-Anzeigen
sind explizit vom Umfang
dieser Bescheinigungen ausgeschlossen!!!

Das dicke Ende -?-

SUB
MARINE
CONSULTING



Das dicke Ende -?-

„Austauchmuster“ © SMC ☺:

Bei langen “Nullzeit”-Tauchgängen:

12 m / 1', 9 m / 1', 6 m / 4', 3 m / 2'

Bei kurzen dekompensionspflichtigen Tauchgängen:

Wie oben, aber: zusätzlich!

Bei längeren dekompensionspflichtigen Tauchgängen:

dito, mit Tiefen Stopps a 3 min,
diese Zeiten aber von der geplanten Grundzeit
abziehen!

Das dicke Ende -?-

SUB
MARINE
CONSULTING



HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING

Quellen @ Albrecht Salm:

**International Journal of the Society for Underwater Technology,
November 2012: Variations in the TTS: where do they come from?
SUT, Vol. 31, No. 1, pp. 43 - 47, 2012**

**CAISSON 26. Jg./2011/Nr. 3, S. 4 - 12:
Dekompressionsberechnungen für Trimix-Tauchgänge mit PC-
Software: Reparieren Gradientenfaktoren defekte Algorithmen oder
defekte Software-Implementierungen?**

**CAISSON 26. Jg./2011/Nr. 1, S. 61:
Desktop Deco-Software und Mischgascomputer -
mögliche Fehlerquellen beim technischen Tauchen?**

HTSV Ausbildertagung 2013

SUB
MARINE
CONSULTING

Weitere Quellen:

**UHMS: ASM 2012, Session F118;
NOT ALL ARE CREATED EQUAL – OPERATIONAL VARIABILITY IN 49
MODELS OF DIVING COMPUTER. Azzopardi E, Sayer MDJ
UK National Facility for Scientific Diving, Scottish Association for
Marine Science, Dunstaffnage Marine Laboratories,
Dunbeg, Oban, Argyll, Scotland**

**Elaine Azzopardi and Martin Sayer (2012) Estimation of depth and
temperatures in 47 models of diving decompression computer.
International Journal of the Society for Underwater Technology, Vol. 31,
No. 1, pp 3 - 12**

Und das Ganze zum 'runterladen:

[http://www.divetable.info/
skripte/HBO-RMT.pdf](http://www.divetable.info/skripte/HBO-RMT.pdf)

THE

SUB
MARINE
CONSULTING

GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

HTSV Ausbildertagung 2013

Back up Material

THE

SUB
MARINE
CONSULTING

GROUP

TEL AVIV – SAN FRANCISCO – STUTTGART

Meßfehler und die Auswirkungen auf die Tauchgangsplanung

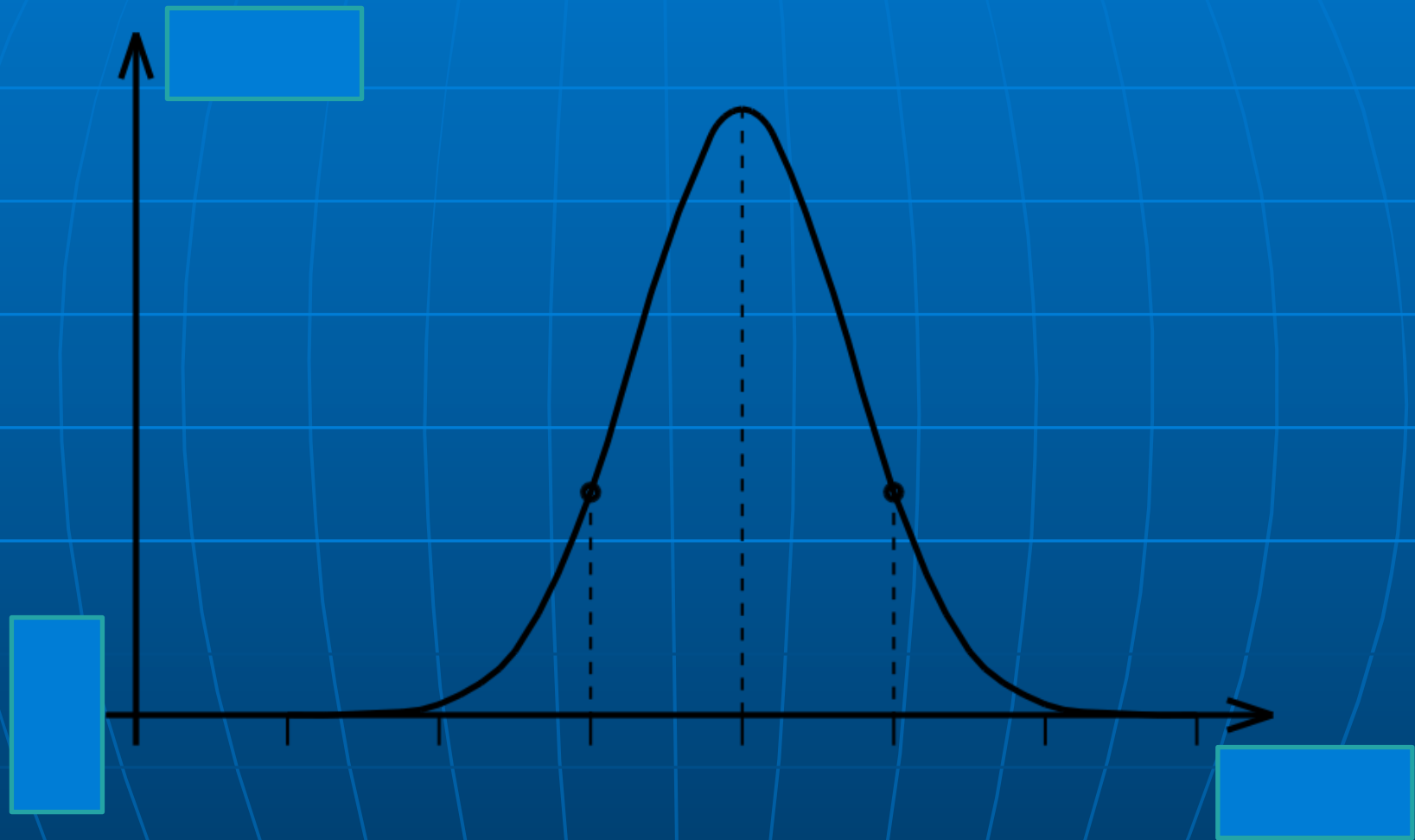
Arten von Meßfehler:

- systematische
- zufällige

Gesetz der Fehlerfortpflanzung:

- totales Differential
- bzw. Summe der Einzelbeträge

Meßfehler und die Auswirkungen auf die Tauchgangsplanung



Meßfehler und die Auswirkungen auf die Tauchgangsplanung

Die berechnete Dekompressionszeit t_D ist eine Funktion vieler Variablen:

$$t_D = f (p_{\text{amb}} \text{ (Tiefe), Grundzeit, } f_{\text{O}_2}, f_{\text{Inertgas}}, p_{\text{H}_2\text{O}}, p_{\text{CO}_2}, p_{\text{Start}}, \text{Temperatur, workload, } R_q \dots)$$

Im schlechtesten Fall ist der Fehler von t_D die Summe aller Einzelfehler

Meßfehler und die Auswirkungen auf die Tauchgangsplanung

Gesetz der Fehlerfortpflanzung:

- **totales Differential von f zur Fehlerrechnung:**

$$df = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} dx_i .$$

- **bzw. Summe der Einzelbeträge zur Fehlerschätzung:**

$$\begin{aligned} \left| \frac{\Delta t_{\text{Deko}}}{t_{\text{Deko}}} \right| = & \left| \frac{\Delta t}{t} \right| + \left| \frac{\Delta T}{T} \right| + \left| \frac{\Delta f_{\text{O}_2}}{f_{\text{O}_2}} \right| + \\ & \left| \frac{\Delta P_{\text{amb}}}{P_{\text{amb}}} \right| + \left| \frac{\Delta P_{\text{Inert}}}{P_{\text{Inert}}} \right| + \dots + \dots \end{aligned}$$

Meßfehler und die Auswirkungen auf die Tauchgangsplanung

Gesetz der Fehlerfortpflanzung:

- **totales Differential von f zur Fehlerrechnung:**
 - (f muß differenzierbar sein ...)
 - geschlossene, analytische Formel muß bekannt sein
 - nur bei einem Inertgas (Luft, EAN) möglich
 - deshalb bei Mischgasen:
- **Summe der Einzelbeträge zur Fehlerschätzung,**
 - unabhängig vom Algorithmus:

$$\left| \Delta t_{\text{Deko}} / t_{\text{Deko}} \right| = \text{ca. } 10 - 20 \%$$

Das dicke Ende?

- Redundanzen auch beim:
 - Tauchcomputer
 - run times
- Sicherheitszuschlag: + 10 -> 20 % bei der hang time:
- => Atemgas / Kälteschutz
- Weitere Zuschläge:
 - bei körperlicher Belastung
 - bei hohem pO_2
 - unabhängig von „rule of thirds“ und/oder GF

Quelle: http://www.divetable.info/skripte/Deko_Manual.pdf